ORSAY

N° d'ordre : 195

THESE

PRESENTEE

A L'UNIVERSITE DE PARIS-SUD

CENTRE D'ORSAY

POUR OBTENIR

LE TITRE DE DOCTEUR D'UNIVERSITE

par

Jacques ARGOUARCH

AUTOMATISATION ET MISE EN SERVICE SUR LE REACTEUR PHENIX D'UN SYSTEME DE LOCALISATION DE RUPTURE DE GAINE PAR LA METHODE DES TRACEURS

Soutenue le 10 juin 1976, devant la Commission d'Examen

MM.	DEBRAINE	Président
	DONADIEU	Examinateurs
	JEANNOT	

ORSAY

N° d'ordre : 195

THESE

PRESENTEE

A L'UNIVERSITE DE PARIS-SUD

CENTRE D'ORSAY

POUR OBTENIR

LE TITRE DE DOCTEUR D'UNIVERSITE

par

Jacques ARGOUARCH

AUTOMATISATION ET MISE EN SERVICE SUR LE REACTEUR PHENIX D'UN SYSTEME DE LOCALISATION DE RUPTURE DE GAINE PAR LA METHODE DES TRACEURS

Soutenue le 10 juin 1976, devant la Commission d'Examen

MM.	DEBRAINE	Président
	DONADIEU	Examinateurs
	JEANNOT	

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

SOMMAIRE

1. GENERALITES

1.1. Description de la Centrale Phénix,

1.2. But de l'ensemble de spectrométrie de masse,

1.3. Implantation du système sur le réacteur,

2. DESCRIPTION

2.1. Composition de l'installation,

2.2. Ligne d'Enrichissement et d'Introduction dans le Spectromètre de Masse,

2.3. Le Spectromètre de Masse,

2.4. Le Système de traitement des Informations,

3. AUTOMATISMES

3.1. Automatismes câblés,

3.1.1. Principes adoptés,

3.1.2. Séquences assurées,

3.1.3. Description détaillée des circuits,

3.1.4. Technologie

3.2. Automatismes programmés,

3.2.1. Organisation générale des programmes,

3.2.2. Présentation du langage AUTOL-T 2000,

3.2.3. Définition des Séquences AUTOL,

4. ESSAIS

4.1. Essais et Mise au Point en Usine et en Laboratoire,

4.2. Essais sur le Réacteur,

4.2.1. Programme d'Essais,

4.2.2. Résultats obtenus,

5. CONCLUSION

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548124_0012

LISTE DES FIGURES

Fig. n° 1 : Schéma de principe de la Centrale PHENIX,

Fig. n° 2 : Schéma d'installation de l'ensemble de spectrométrie de masse,

Fig. n° 3 : Ligne d'Enrichissement et d'Introduction dans le spectromètre,

Fig. n° 4 : Spectromètre de Masse et Circuits d'Ultra-vide,

Fig. n° 5a : Schéma du quadrupôle,

Fig. n° 5b : " "

Fig. n° 6 : Définition de la résolution du spectromètre,

Fig. n° 7 : Système de traitement des informations,

Fig. n° 8 : Séquence de Mise en Veille du Spectromètre,

Fig. n° 9 : Séquence de Mise en Mesure du Spectromètre,

Fig. n° 10 : Passage automatique : Mesure ⇄ Veille,

Fig. n° 11 : Séquence "Démarrage"de la Ligne,

Fig. n° 12 : Séquence "Marche Normale de la Ligne,

Fig. n° 13 : Séquence "Mise en Veille"de la Ligne,

Fig. n° 14 : Séquence "Arrêt" de la Ligne,

Fig. n° 15 : Mode de commande et de Signalisation d'une Vanne en Automatique et en Manuel,

Fig. n° 16 : Spectrogramme enregistré en continu à la sortie du Spectromètre de Masse en commande interne,

Fig. n° 17 : Tableau des résultats publié par le Calculateur (commande externe du Spectromètre)

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : Schémas de quelques Circuits Logiques de Commande du Spectromètre.

ANNEXE 2 : Application des Instructions AUTOL à la Sous-Séquence "Enrichissement" de la ligne.

ANNEXE 3 : Vues du Matériel au moment des Essais en Laboratoire, au Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay.

R E M E R C I E M E N T S

J'exprime ma respectueuse reconnaissance à Monsieur le Professeur P. DEBRAINE pour l'honneur qu'il m'a fait en patronnant cette thèse et en acceptant de présider la Commission d' Examen.

J'adresse mes plus sincères remerciements à Monsieur le Professeur DONADIEU ainsi qu'à M. JEANNOT qui ont accepté de faire partie du jury.

J'exprime ma grande reconnaissance à Monsieur R. CARLE, Chef de la Division de Construction des Réacteurs au Commissariat à l'Energie Atomique, et à M. MEGY, son Adjoint, qui m'ont donné l'occasion et les moyens de mener à bien ce travail.

Je remercie très sincèrement M. VILLENEUVE, Chef du Département des Réacteurs à Neutrons Rapides au CEN Cadarache et M. PAGES, Chef de l'Echelon "Produits de Fission", de toute la confiance qu'ils m'ont témoignée.

J'adresse mes plus vifs remerciements à Monsieur CHAPELOT qui m'a toujours soutenu tout au long de cette réalisation.

Je remercie très vivement M. PEIRANO, chargé de la mise au point des programmes d'automatisme, pour son amicale collaboration.

J'adresse enfin mes remerciements les plus sincères à tous ceux qui, sous une forme ou une autre, m'ont aidé et conseillé.

1 - GENERALITES

1.1 - Description de la Centrale PHENIX

La Centrale PHENIX est construite sur la rive droite du Rhône, à proximité du Centre de Marcoule, dans le Gard.

Cette Centrale constitue un prototype de moyenne puissance dans la filière des réacteurs à neutrons rapides. Elle fait normalement suite au premier réacteur français de cette filière, Rapsodie, qui a divergé en 1967 sur le site du Centre d'Etudes Nucléaires de Cadarache. La puissance neutronique de Rapsodie a été portée en 1970 à 40 MW. Ce réacteur ne produit pas d'énergie électrique et l'un de ses rôles essentiels est d'expérimenter le combustible nucléaire nécessaire au fonctionnement de ce type de réacteur.

La Centrale PHENIX, par contre, fournit de l'Energie Electrique au réseau français. Sa puissance nominale est de 250 Mégawatts électriques (MWe).

La Figure n°1 de la page suivante donne une représentation schématique des principaux ensembles constituant la Centrale.

On peut y distinguer deux parties principales :

- La Chaudière Nucléaire (C.N.), chargée, à partir du combustible nucléaire, de produire de la vapeur d'eau à haute température et à haute pression.

- L'Installation de Production d'Electricité (I.P.E.) dont le rôle est de transformer l'énergie thermodynamique en énergie électrique.

. La Chaudière Nucléaire comprend elle-même deux parties distinctes :

  - l'une, à l'intérieur d'une enceinte étanche en béton, renferme le réacteur ainsi que les éléments nécessaires à son contrôle et à sa commande.

  - l'autre, à l'extérieur, permet la récupération et la transformation de l'énergie produite par la fission au coeur du réacteur.

A l'intérieur de l'enceinte étanche, on trouve essentiellement :

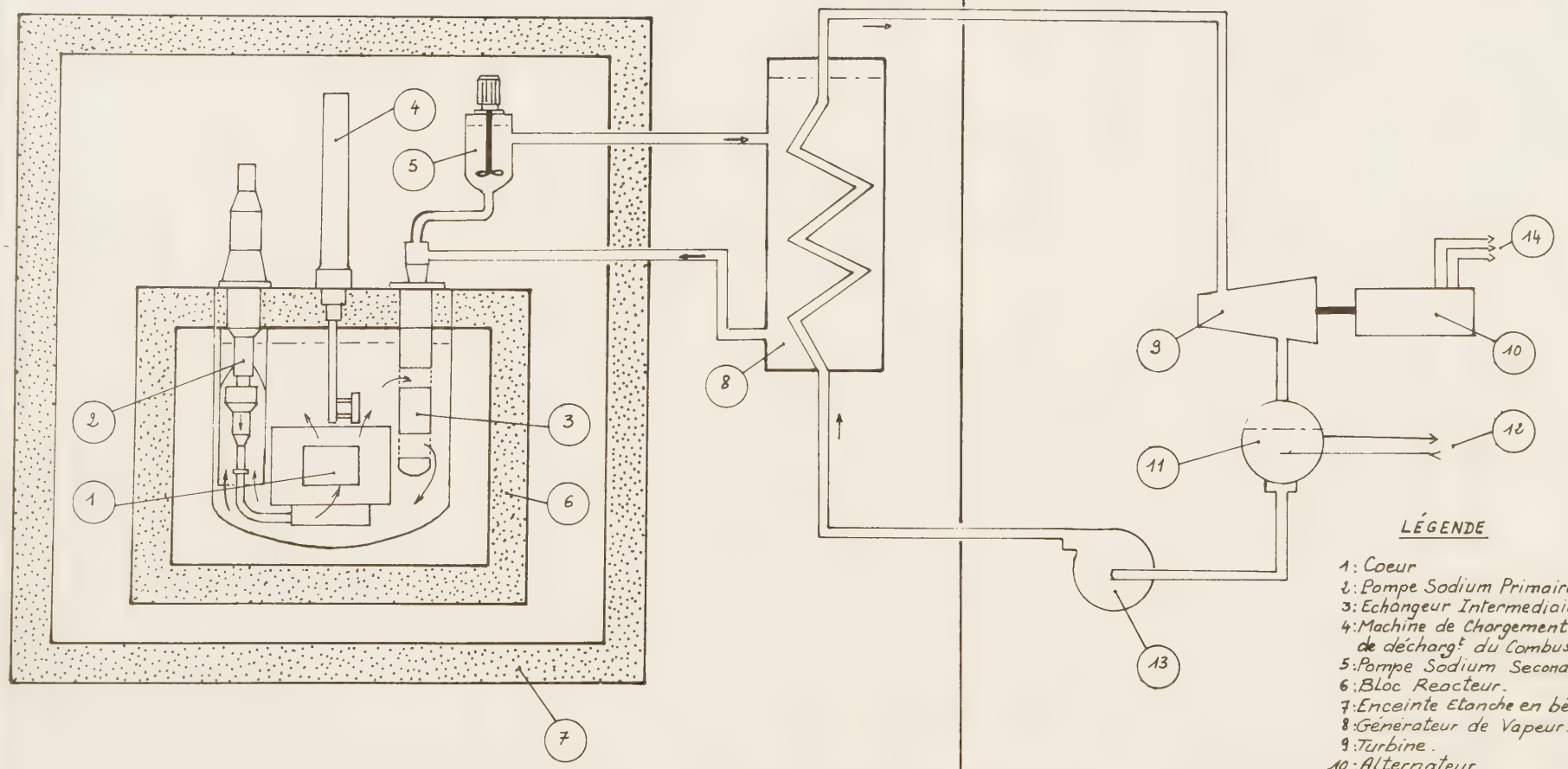
  - le coeur (rep. 1).
  - trois pompes "primaires" assurant, grâce à une circulation de sodium fondu, le refroidissement du coeur (rep. 2).
  - six échangeurs de température intermédiaires permettant un échange thermique entre le sodium du circuit primaire et le sodium du circuit secondaire (rep. 3).
  - une machine de chargement et de déchargement du combustible(rep.4).

A l'extérieur de l'enceinte étanche, on remarque :

  - trois circuits bouclés, dans lesquels, sous l'effet de trois pompes "secondaires" (rep. 5), circule le sodium "secondaire", non actif.
  - trois échangeurs de température sodium-vapeur (rep. 8), encore appelés Générateurs de Vapeur.

Schéma de Principe de la Centrale Nucléaire à Neutrons Rapides PHENIX

Chaudière Nucléaire | *Installation de Production d'Electricité*



LÉGENDE

1 : Coeur
2 : Pompe Sodium Primaire
3 : Echangeur Intermediaire
4 : Machine de Chargement et de décharg^{t} du Combustible
5 : Pompe Sodium Secondaire
6 : Bloc Reacteur.
7 : Enceinte Etanche en béton
8 : Generateur de Vapeur.
9 : Turbine.
10 : Alternateur.
11 : Condenseur
12 : Eau de Refroidissement du Condenseur
13 : Pompe Alimentaire
14 : 20 KV.

. L'Installation de Production d'Electricité comprend essentiellement :

- une turbine (rep. 9)
- un condenseur (rep. 11)
- une pompe alimentaire (rep. 13)
- un alternateur (rep.10)

Le Réacteur PHENIX a divergé pour la première fois le 31 Août 1973 et le premier couplage au réseau électrique national a eu lieu en Décembre de la même année.

1.2 - But de l'Ensemble de Spectrométrie de Masse

L'Ensemble de Spectrométrie de Masse mis en place sur le Réacteur PHENIX, s'intègre dans l'instrumentation de Détection et de Localisation de Ruptures de Gaine du Réacteur.

Afin de mieux comprendre l'utilité et le rôle joué par une telle instrumentation, il est nécessaire de décrire sommairement le combustible du réacteur, les conditions dans lesquelles il est utilisé et les graves inconvénients présentés par la rupture du gainage qui le contient.

1.2.1 - Description du combustible

Le combustible est renfermé dans des boitiers métalliques étanches, appelées aiguilles.

Suivant leur composition, les aiguilles peuvent être classées en deux catégories :

- les aiguilles "combustibles", renfermant sous leur enveloppe en acier inoxydable de l'oxyde mixte d'Uranium et de Plutonium (UO_2 - PuO_2)
- les aiguilles "fertiles", constituées uniquement d'empilements de pastilles d'oxyde d'Uranium naturel (UO_2)

Le système mécanique qui permet le regroupement d'un certain nombre de ces aiguilles s'appelle l'Assemblage.

Il existe deux types d'Assemblages :

- les Assemblages combustibles
- les Assemblages fertiles.

- L'Assemblage "combustible" constitue l'élément fissile. Il est composé de 217 aiguilles combustibles et de 37 aiguilles fertiles.

- l'Assemblage "fertile" ne renferme que 61 aiguilles fertiles.

La charge normale du réacteur PHENIX comprend 103 Assemblages Combustibles et 90 Assemblages Fertiles.

1.2.2 - Conditions de fonctionnement - Conséquences d'une rupture de Gaine

Nous nous contenterons de citer quelques caractéristiques mettant en relief les conditions d'utilisation des assemblages :

- La puissance thermique totale produite dans le coeur du réacteur est de 563 Mégawatts thermiques (MWth.)
- La puissance maximale d'un assemblage combustible est de 6,49 MWth.
- La puissance spécifique maximale d'une aiguille combustible est de 417 W/cm.
- Le débit total de sodium dans le coeur est de 10.020 t/h, tandis que dans un assemblage combustible unique le débit est de 25,68 Kg/s.
- La température du sodium chaud à l'entrée des échangeurs intermédiaires est de 560 °C et l'élévation de température nominale du sodium, entre l'entrée et la sortie des assemblages neufs, est de 200 °C.

Ces quelques caractéristiques montrent déjà les contraintes auxquelles peuvent être soumises individuellement les aiguilles et, d'une façon plus complexe, les assemblages.

Outre ces paramètres purement thermodynamiques, le combustible est le siège même de la réaction nucléaire en chaîne. Il est par conséquent soumis à des flux neutroniques et γ très intenses.

La fission s'accompagne également d'une production de gaz, radioactifs et stables, dits "gaz de fission", qui s'accumulent à l'intérieur du gainage de l'aiguille.

Sous ces différentes contraintes, l'aiguille se déforme et, à la limite, l'étanchéité de son gainage peut être rompue.

L'unité adoptée pour caractériser le temps passé par un élément combustible dans le coeur d'un réacteur, c'est-à-dire le taux de "combustion" auquel il a été soumis, est le Mégawatt-Jour par tonne de combustible (MWJ/t). Plus précisément, le Mégawatt-Jour par tonne est le bilan des quantités de chaleur dégagées par fissions dans le combustible, rapporté à une tonne de métal lourd (U,Pu).

Il est ainsi courant de dire qu'un assemblage a été soumis à 20.000, 30.000, etc... MWJ/t.

Donc, suivant son taux de combustion, l'aiguille a dû subir des phénomènes plus ou moins complexes de contrainte. Mais par ailleurs, pour des raisons économiques évidentes, on cherche à obtenir des taux de combustion maximaux tout en s'assurant des bonnes conditions de fonctionnement du réacteur.

Or, ce bon fonctionnement peut être contrarié par la rupture de l'étanchéité du gainage du combustible.

- Quels sont les types de ruptures auxquelles on peut s'attendre ?
- Quelle est leur importance ? Quelles en sont les conséquences dans ce type de réacteur ?

On peut, en résumé, distinguer deux cas [Réf. 1] :

- Si la rupture se réduit à une fissure, permettant la libération des gaz "produits de fission" à l'extérieur de l'enveloppe en acier inoxydable, les conséquences immédiates sur la vie du réacteur ne sont pas très importantes. Ce type de ruptures constitue les "Ruptures gazeuses".

- Si la rupture est ouverte et permet l'entrée du fluide de refroidissement à l'intérieur même de l'aiguille, les conséquences peuvent être nettement plus graves. En effet, ce type de rupture correspond forcément à une déformation plus importante de la gaine-enveloppe, ce qui a pour effet de perturber l'écoulement du sodium assurant son refroidissement. Le phénomène peut évoluer de telle sorte qu'un échauffement excessif du combustible, dû à un manque de refroidissement, risque encore d'aggraver le défaut, et ceci jusqu'à la fusion de l'élément défaillant.

  Un tel incident, s'il n'est pas décelé suffisamment tôt, peut avoir des conséquences très graves pour la vie du réacteur.

  Il est donc évident que l'un des facteurs de sécurité et de garantie de bon fonctionnement prolongé d'un réacteur nucléaire est constitué par la qualité du gainage de son combustible.

Aussi cette qualité est-elle recherchée tant au niveau des études que de la fabrication des éléments combustibles. C'est aussi, comme nous l'avons indiqué tout au début, l'un des buts essentiels du réacteur expérimental Rapsodie.

Toutefois, les forts taux de combustion auxquels doivent être soumis les assemblages d'un réacteur de grande puissance et les mesures de sécurité qui s'imposent, nécessitent de prévoir sur le réacteur en service une instrumentation de contrôle très élaborée.

1.2.3 - A quoi sert l'Ensemble de Spectrométrie de Masse ?

Dans le domaine de la surveillance du combustible mis en place dans le réacteur, il existe deux types d'instrumentation :

- celle affectée à la fonction "Détection de Ruptures de Gaine" (D.R.G.)
- celle dont la fonction est surtout de "Localiser la Rupture de Gaine" (L.R.G.)

L'Ensemble de Spectrométrie de Masse appartient à cette deuxième catégorie. Il est certain qu'un appareillage servant à la localisation peut également, en période de surveillance, servir en détection, dans la mesure où il effectue sa mesure sur une source d'information globale et qu'il possède une sensibilité suffisante. C'est le cas pour l'Ensemble de Spectrométrie de Masse. Mais dès que l'alarme d'une rupture est donnée, sa fonction essentielle est la localisation de cette rupture.

1.2.3.1 - Principe de la localisation de rupture de gaine par gaz traceur

La méthode consiste à introduire, au moment de sa fabrication, une quantité faible (quelques cm^3) de gaz traceur dans chaque aiguille d'un même assemblage.

A la rupture, le gaz traceur s'échappe de l'aiguille,se mélange au sodium primaire en circulation et se retrouve, en quantité plus ou moins grande par rapport au volume relaché, dans le gaz de couverture du réacteur(Argon). L'information est alors présente dans les 40 m^3 de ce gaz neutre, dont la purification et le renouvellement partiel sont assurés par une installation adaptée.

Un prélèvement de gaz est effectué en permanence sur le réacteur. Une faible partie (débit : 1 litre/minute environ) est conduite vers une "Ligne d'Enrichissement et d'Introduction dans le Spectrométre de Masse". Ce système retient, par chromatographie, les gaz traceurs (Xénon et Krypton) susceptibles d'exister dans le gaz prélevé.

Puis l'échantillon de gaz, riche en traceurs, est introduit, pour analyse, dans le Spectromètre de Masse.

Les informations électriques élaborées par ce dernier sont alors traitées dans une chaîne de mesure avant d'être transmises vers un calculateir numérique. Celui-ci dépouille les mesures et publie en clair, sur une télétype, les résultats d'analyse. De la comparaison de ces résultats avec le tableau des traceurs initialement introduits dans les aiguilles, le calculateur peut déduire l'origine de la rupture.

1.2.3.2 - Autres fonctions de l'Ensemble de Spectrométrie de Masse

- Comme indiqué au paragraphe 1.2.3, l'Ensemble de Spectrométrie peut également, en période de surveillance, assurer une fonction de Détection de Ruptures Gazeuses. En effet, en surveillant l'évolution de la concentration dans l'argon de couverture du Xe 133 et Kr 85, produits de fission gazeux, il permet de connaître, d'une façon précoce, le défaut d'étanchéité globale des assemblages.

- Par ailleurs, il permet de tester, d'une façon quasi-permanente, l'efficacité de l'installation d'épuration de l'Argon de couverture, dont le but est de retenir les gaz neutres, actifs ou non actifs, tels que Xénon et Krypton.

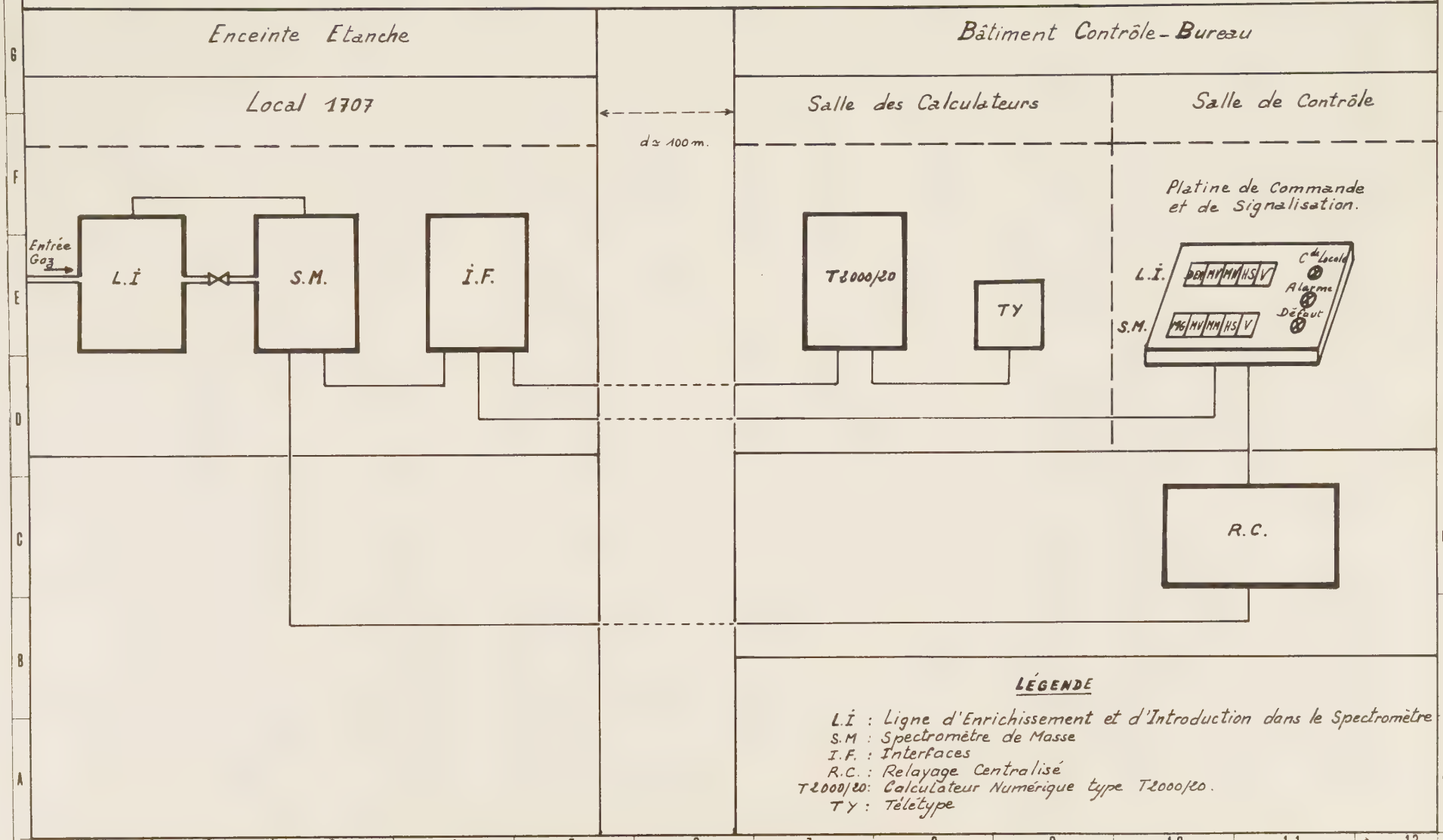
- Enfin, à la suite d'une phase de manutention de combustibles, et en fonctionnement manuel seulement, il permet de connaître l'importance des entrées d'air dans l'argon de couverture.

1.3 - Implantation du système sur le réacteur

L'Ensemble de Spectrométrie de Masse est installé sur le réacteur conformément au schéma de la Figure n° 2.

L'installation est composée de quatre parties distinctes :

Implantation du Système sur le Réacteur



LÉGENDE

L.I : Ligne d'Enrichissement et d'Introduction dans le Spectromètre
S.M : Spectromètre de Masse
I.F. : Interfaces
R.C. : Relayage Centralisé
T2000/20: Calculateur Numérique type T2000/20.
TY : Télétype

- L'Ensemble d'Analyse, qui constitue la majeure partie de l'installation, se trouve dans un local, à l'intérieur de l'enceinte étanche du réacteur. Une conduite de faible diamètre ($\emptyset$ = 10 mm) permet d'amener, puis de rejeter le gaz ayant servi à l'analyse.

- Le calculateur est situé dans une salle réservée à l'ensemble des calculateurs de la Centrale, dans le bâtiment de contrôle, à 120 mètres environ de l'ensemble d'analyse.

- La "Platine de commande à distance" se trouve dans la salle de contrôle, à 100 mètres environ de l'Ensemble d'Analyse et à 30 mètres du calculateur.

- Un Ensemble de "Relayage Centralisé", implanté dans la salle de relayage, située également dans le bâtiment de contrôle, assure le relais entre la platine de commande et le Spectromètre de Masse.

2 - DESCRIPTION

2.1 - Composition de l'installation

L'installation comprend :

- une ligne d'enrichissement en Xénon et Krypton, suivi d'un système sous vide permettant l'introduction de l'échantillon de gaz à analyser dans le Spectromètre de Masse.
- un Spectromètre de Masse du type quadrupolaire, équipé de ses circuits d'alimentation, de contrôle et de mesure.
- un Ensemble de Traitement des Informations et de Commande automatique de l'Ensemble de l'Installation.

2.2 - Ligne d'Enrichissement et d'Introduction dans le Spectromètre de Masse

(voir Figure n°3)

- La Ligne d'Enrichissement est composée essentiellement de trois colonnes chromatographiques C_1 , C_2 et C_3 , montées en cascade.

Ces colonnes ont leur canal central rempli de charbon actif et opèrent, à basse température, une chromatographie frontale sur les gaz qui les traversent.

Le gaz actif, en provenance du réacteur, est constitué essentiellement d'argon. La première colonne (C_1), portée à - 80° C environ, retient la quasi-totalité des Xénon et Krypton présents dans le gaz traité. L'argon est rejeté vers un circuit de récupération, si bien qu'à la fin de l'opération, qui dure environ 20 minutes, la colonne C_1 se trouve "chargée" par une très faible quantité de gaz dont la concentration en traceurs (Xénon et Krypton) est élevée. Un courant d'hélium permet, au dernier moment, d'éliminer les résidus d'argon et, ainsi, d'améliorer le rendement chromatographique.

La phase "froide" sur la Colonne 1 est alors suivie d'une phase "chaude" (+ 200° C environ), dont le but est de désorber les gaz rares qui ont été piégés sur le charbon. Un courant d'hélium permet d'entraîner les gaz ainsi libérés sur une deuxième colonne (C_2) qui a été préalablement préparée pour effectuer une chromatographie semblable à la première.

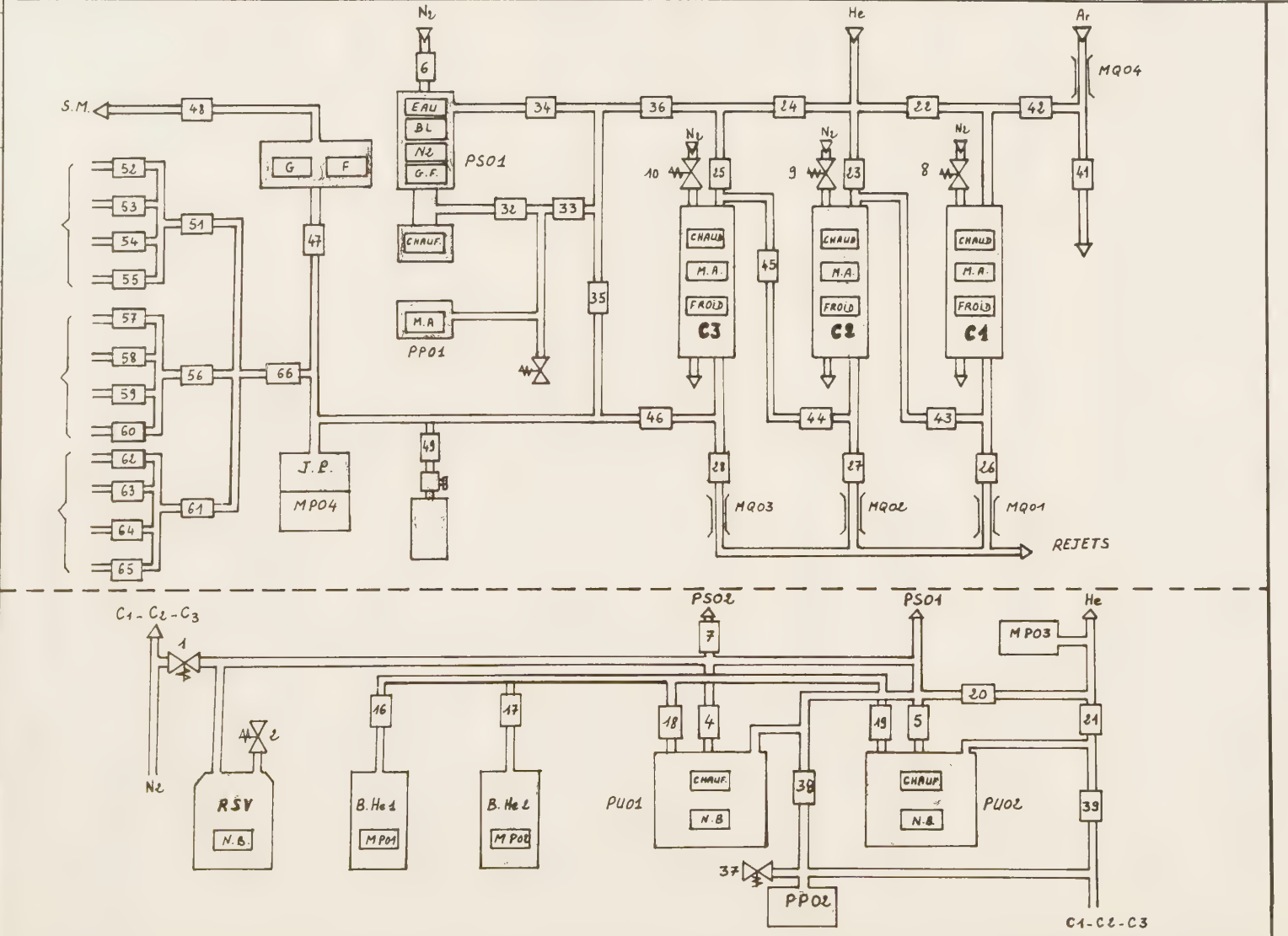
Cette opération est encore répétée une troisième fois, si bien qu'à la sortie de la troisième colonne (C_3), au moment de son réchauffement, il ne subsiste pratiquement plus d'argon. Le charbon actif de la colonne 3 porte entre 70 et 100 % du Xénon et du Krypton qui étaient initialement contenus dans les 20 litres de gaz actifs prélevés sur le réacteur.

- A la sortie de la colonne 3, on trouve la Ligne d'introduction dans le Spectromètre de Masse.

Cette ligne comprend :

- un ensemble de pompage primaire-secondaire,

Ligne d'Enrichissement et d'Introduction dans le Spectromètre de Masse



LEGENDE

N2 : AZOTE LIQUIDE
He : HELIUM
Ar : ARGON REACTEUR
G : GETTER
F : FILAMENT
BL : BILAME
G.F : GROUPE FREON
M.A : MARCHE-ARRET
J.P : JAUGE PRIMAIRE
C : COLONNE CHROMATOGR.
RSV : RESERVOIR
B : BOUTEILLE
PU : PURIFICATEUR
N.B : NIVEAU BAS
MP : PRESSOSTAT
S.M : SPECTROMETRE
MQ : DEBITSTAT

- une capacité d'introduction,
- un ensemble de bouteilles de gaz Etalon et de Référence,
- une bouteille sous vide, en secours.

. Le "vide", dans la ligne d'introduction, est assuré par un ensemble de pompage composé d'une pompe primaire à palette et d'une pompe secondaire à diffusion de mercure. Cette dernière est munie d'un piège à azote liquide dont le rôle est de fixer les gaz rares et d'améliorer ainsi le vide dans le circuit.

. La capacité d'introduction est constituée d'une enceinte métallique équipée d'un filament en tungstène porté à très haute température et d'une pompe Getter.

Le but du filament est d'opérer sur l'échantillon gazeux qui va être introduit dans le spectromètre, une cassure (cracking) des molécules d'hydrocarbure éventuellement mélangées aux gaz rares.

La pompe Getter a pour rôle de pomper les produits légers obtenus à la suite de cette ultime opération.

. Les bouteilles de gaz Etalon et de Référence permettent, d'une part de calibrer le Spectromètre de masse et, d'autre part de confirmer en cas de rupture de gaine, l'origine du traceur (Voir § 1.2.3.1.).

. Une bouteille de récupération est maintenue en permanence sous vide. Elle permet, en cas d'indisponibilité du spectromètre, de récupérer l'échantillon de gaz enrichi, en provenance de la colonne C_3. Cet échantillon peut ainsi être analysé ultérieurement par le Spectromètre de Masse.

Toutes les conduites sont métalliques, en acier inoxydables. Les liaisons entre différents composants de la Ligne sont réalisés par des vannes pneumatiques dont le corps et le clapet sont également entièrement métalliques. Ces vannes sont commandées par des électrovannes qui permettent l'admission ou non de l'air comprimé de commande. Dans quelques cas particuliers, les vannes pneumatiques sont remplacées par des électrovannes.

Pour fonctionner correctement, la Ligne d'Enrichissement et d'Introduction a besoin de fluides suivants :

- Air comprimé,
- Hélium,
- Azote liquide,
- Eau,
- Gaz Etalon et de Référence,
- Gaz Réacteur.

Il faut enfin préciser que ce dernier est rendu fortement radioactif par la présence de l'argon 41 qu'il contient. Il a donc été nécessaire de disposer judicieusement l'ensemble des éléments traversés par ce gaz sous une protection biologique en plomb.

L'ensemble de la Ligne d'Enrichissement et d'Introduction a été étudié et mis au point sous sa forme prototype, au Département de Recherche et d'Analyse de Saclay (Réf. 2).

Sa fabrication, dans sa version industrielle, a été confiée à la Société L'AIR LIQUIDE. La maîtrise d'oeuvre a été assurée par TECHNICATOME.

2.3 - Spectromètre de masse (Voir Figures 4 et 5a)

Le spectromètre utilisé est du type quadrupolaire. Il est composé de deux parties principales :

- la première comprend la source et la chambre d'ionisation,
- la seconde, le filtre quadrupolaire suivi de l'optique de déviation, du multiplicateur d'électrons et de l'anode collectrice.

2.3.1 - Principe général de fonctionnement

La source, composée d'un filament en tungstène fortement chauffé, libère des électrons que l'on accélère sous l'effet d'un champ électrique. Ces électrons acquièrent une énergie suffisante pour ioniser le gaz introduit dans la chambre d'ionisation ($Ei \gtrsim 10$ eV).

Les ions positifs obtenus dans la chambre d'ionisation sont alors accélérés sous l'action d'un champ électrique continu E_c, et leur direction à l'entrée du filtre quadrupolaire se confond avec l'axe central du filtre.

Le quadrupole, composé de 4 barreaux métalliques de forme cylindrique, disposés suivant les quatre grandes arêtes d'un parallélépipède droit, dont le plan de base est un carré, filtre les ions en fonction de leur rapport masse sur charge (m/q). Ce filtrage consiste à capter sur les barreaux du quadrupôle tous les ions dont le rapport $\frac{m}{q}$ ne répond pas aux critères de sélection choisis et par contre à laisser passer ceux qui y répondent.

A la sortie du filtre, trois plaques déflectrices dévient le faisceau ionique de 90° et l'oriente sur la première dynode d'un multiplicateur d'électrons à 17 étages.

Une électrode collectrice, en sortie du multiplicateur, collecte l'ensemble des charges électroniques ainsi produites.

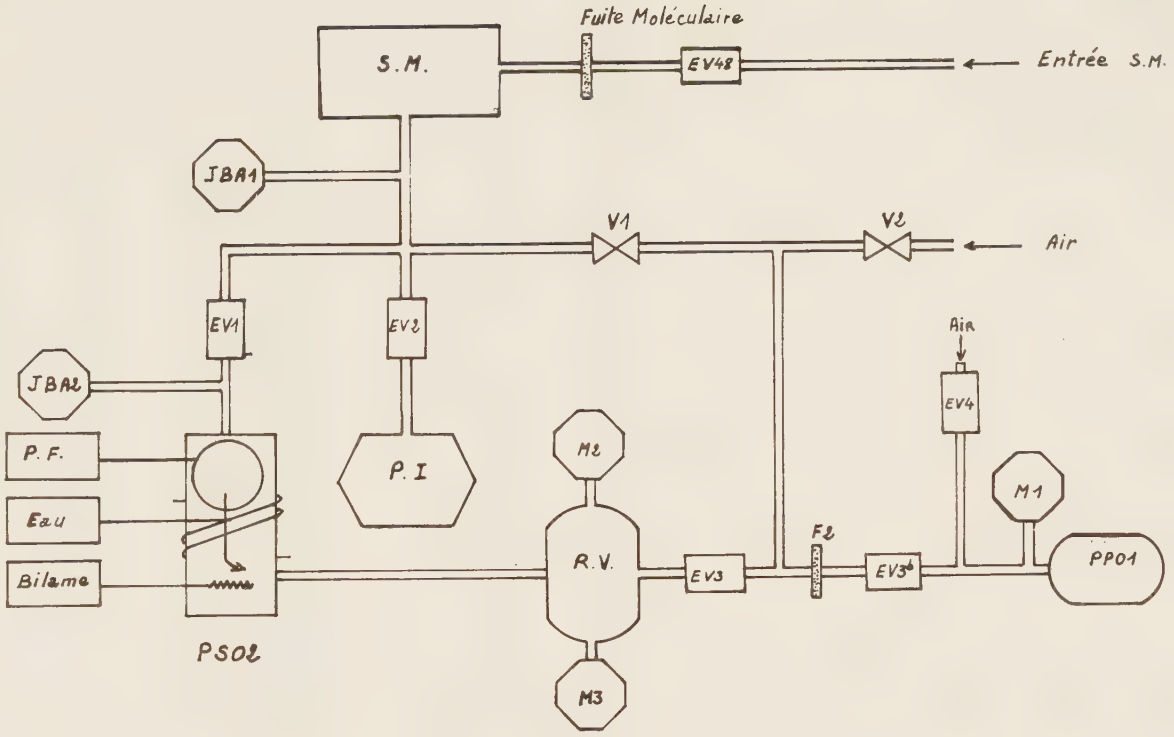
Suivant le type de circuit électronique utilisé, ces charges sont ensuite soit comptées, soit intégrées et mesurées sous forme d'un courant continu moyen.

2.3.2 - Théorie du filtre quadripolaire (Voir Figure 5 a)

Si on applique, perpendiculairement à un faisceau d'ions de mêmes charges mais de masses différentes (rapport m/q différents) un champ électrique variable, la nouvelle trajectoire de ces ions dépendra, d'une part du rapport m/q et d'autre part de l'intensité, du sens et de la fréquence du champ appliqué.

C'est à ce principe qu'obéit le Spéctromètre de masse quadrupolaire : On soumet un faisceau d'ions positifs à un champ électrique alternatif sinusoïdal, appliqué sur les quatre barreaux d'un quadrupole. Les ions qui appartiennent à une

Spectromètre de Masse et Circuits d'Ultra_Vide



LEGENDE

S.M : Spectromètre de Masse
F : Filtre
J.BA : Jauge Secondaire
P.F. : Piège Froid
P.S. : Pompe Secondaire
R.V. : Réservoir à Vide
P.I : Pompe Ionique
PP : Pompe Primaire
M : Jauge Primaire

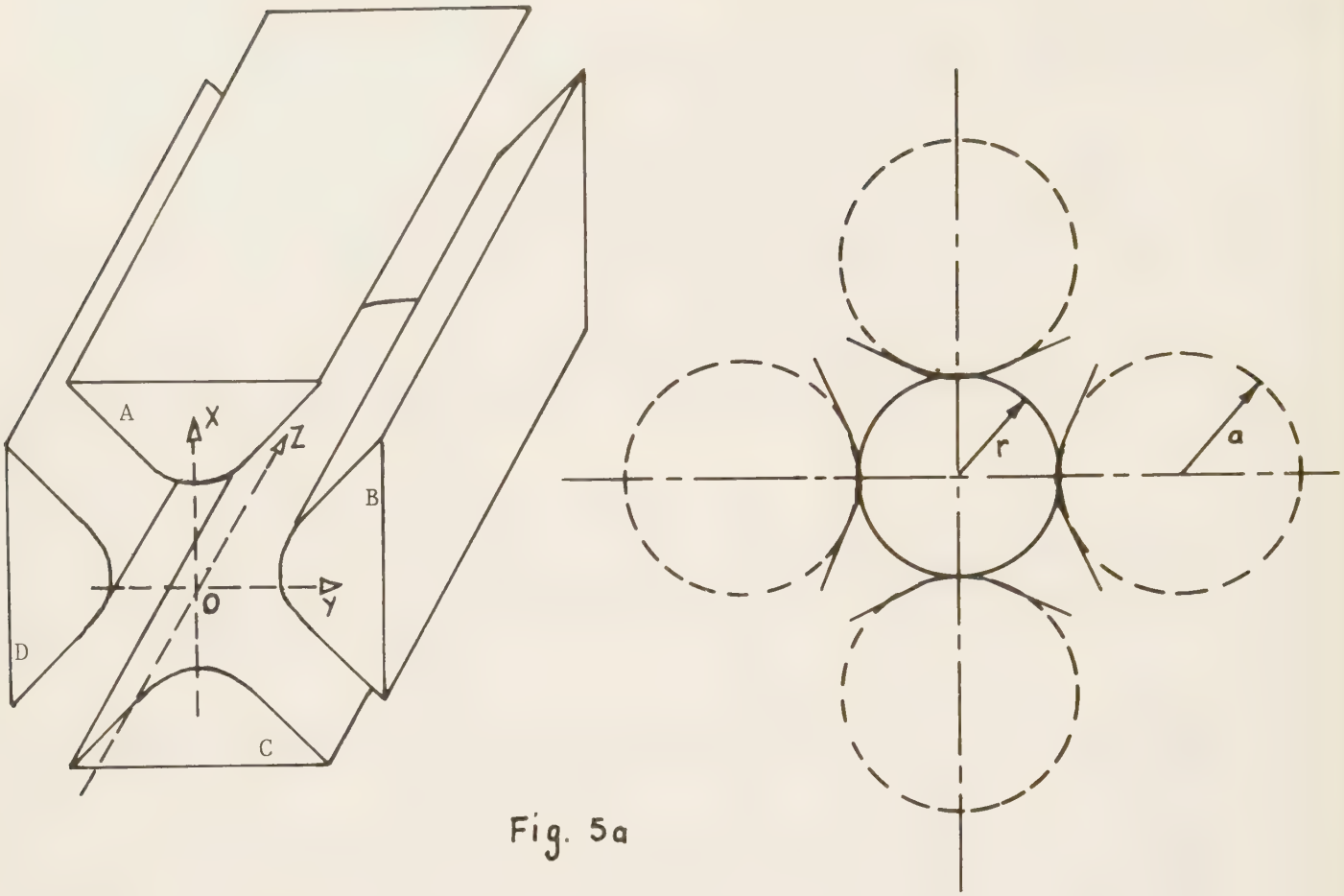


Fig. 5a

certaine bande de rapport masse/charge convergent vers l'axe central du quadrupôle, tandis que les autres s'en éloignent jusqu'à capture par l'un des barreaux.

Considérons le quadrupôle constitué par quatre cylindres hyperboliques et le système d'axes X, Y, Z associé. L'équation de ces cylindres est de la forme :

$$y^2 - x^2 = + r^2$$

Appliquons simultanément, d'une part entre A et C, d'autre part entre B et D, une tension de la forme :

$$U = \frac{1}{2} \quad (V_o + V_1 \cos \omega t)$$

où :

V_o = tension continue

$V_1 \cos \omega t$ = tension alternative sinusoïdale de fréquence : $f = \frac{\omega}{2\pi}$

Le potentiel rapporté aux trois axes est alors :

$$U(x,y,z) = \frac{1}{2} (V_o + V_1 \cos \omega t) \quad \frac{y^2 - x^2}{r^2}$$

D'où le champ suivant ces trois axes :

$$Ex = \frac{\partial u}{\partial x} = -(V_o + V_1 \cos \omega t) \frac{x}{r^2} \qquad (1)$$

$$Ey = \frac{\partial u}{\partial y} = (V_o + V_1 \cos \omega t) \frac{y}{r^2} \qquad (2)$$

$$E_z = \frac{\partial u}{\partial z} = 0 \qquad (3)$$

Par ailleurs, un ion de masse m et de charge q est soumis à une force F telle que :

$$\vec{F} = q \vec{E} = m \vec{\gamma}$$

D'où

$$\vec{\gamma} = \frac{q}{m} \vec{E} \qquad (4)$$

et si on pose : $\gamma_x = x''$

$\gamma_y = y''$

$\gamma_z = z''$

La comparaison de (1), (2) et (3) avec (4) permet d'écrire :

$$x'' + (V_o + V_1 \cos \omega t) \frac{q}{m r^2} \cdot x = 0 \qquad (5)$$

$$y'' - (V_o + V_1 \cos \omega t) \frac{q}{m r^2} \cdot y = 0 \qquad (6)$$

$$z'' = 0 \qquad (7)$$

Dans la pratique, il est difficile de réaliser des cylindres hyperboliques du type représenté sur la figure 5a. Il est plus facile de fabriquer, avec suffisamment de précision, des barreaux en forme de cylindres pleins. Les trois équations différentielles précédentes restent encore acceptables dans ce cas à condition de respecter la condition suivante : $a = 1{,}16\ r$ (Réf. 3)

où : r = rayon du cercle tangent aux quatre cylindres,

a = rayon des cylindres.

A l'instant t = o, l'ion se trouve au point O. Il possède alors une vitesse due à une électrode placée à la sortie de la chambre d'ionisation et portée au potention Vc.

En supposant que tous les ions sont produits approximativement à la même distance ℓ de l'électrode accélératrice, la vitesse des ions au point O sera :

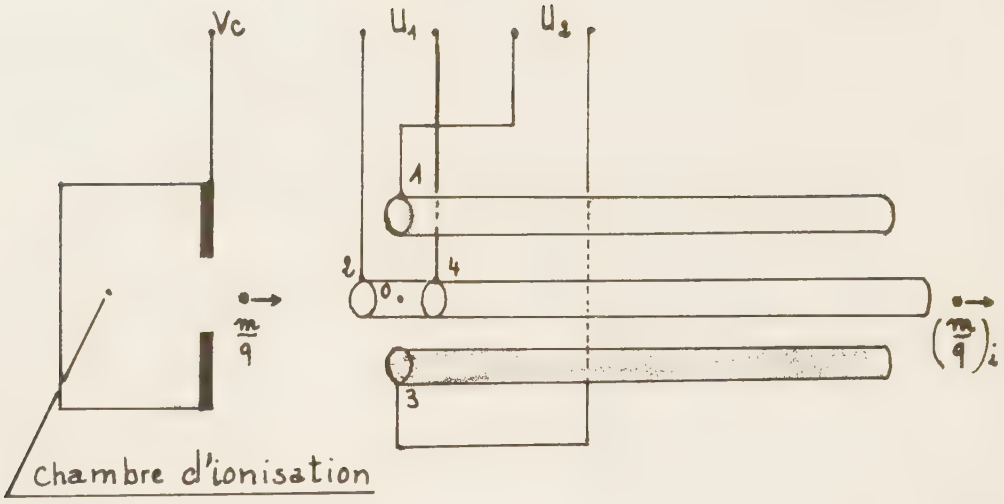


Fig. 5 b.

$$\left(\frac{dz}{dt}\right)_o = \gamma\theta$$

D'autre part :

$$\ell = \frac{1}{2}\gamma\theta^2$$

d'où $$\theta = \sqrt{\frac{2\ell}{\gamma}}$$

On a donc :

$$\left(\frac{dz}{dt}\right)_o = \sqrt{2\gamma\ell}$$

D'autre part, la force à laquelle est soumis l'ion peut s'écrire :

$$\vec{F} = m\vec{\gamma} = q\vec{E} = q\frac{Vc}{\ell}$$

D'où $$\gamma = \frac{q}{m}\frac{Vc}{\ell}$$

L'intégration de l'équation (7) donne :

$$z = a\ t$$

où a est la vitesse des ions au point O. D'où :

$$z = \sqrt{2 \frac{q}{m} Vc.t}$$

Les équations (5) et (6) peuvent encore s'écrire :

$$x'' + \left(\frac{2V_o}{V_1} + 2 \cos \omega t \right) \frac{q}{m} \frac{V_1}{2r^2} . x = 0$$

$$y'' - \left(\frac{2V_o}{V_1} + 2 \cos \omega t \right) \frac{q}{m} \frac{V_1}{2r^2} . y = 0$$

Posons : $K = (\frac{m}{q}) \omega^2 . \frac{2r^2}{V_1}$ et $b = 2 \frac{V_o}{V_1} \omega^2$

On aura :

$$x'' + \frac{1}{K} (b + 2\omega^2 \cos \omega t) x = 0 \qquad (8)$$

$$y'' - \frac{1}{K} (b + 2\omega^2 \cos \omega t) y = 0 \qquad (9)$$

Ces deux équations différentielles sont du type de MATHIEU. Elles ont deux types de solutions - stable et instable - en fonction des coefficients K et b (voir Figure 6).[Réf.4] .

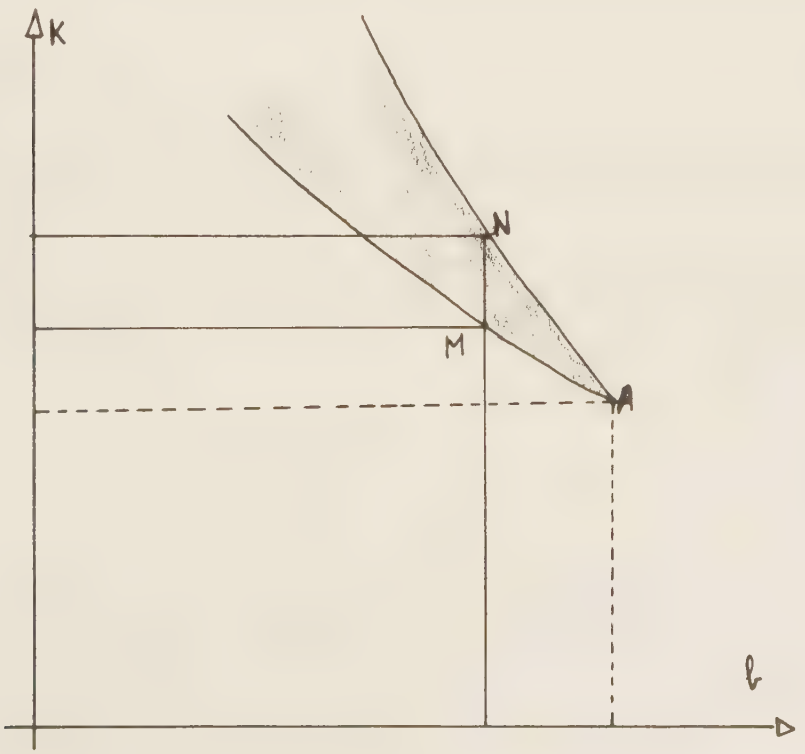


Fig. 6

La zone de stabilité, c'est-à-dire les valeurs de K et de b, pour lesquelles les ions traversent le filtre, se situe à l'intérieur de ces deux courbes.

En A, point de convergence des deux courbes, il n'existe qu'une valeur possible de K et b. Donc, en ce point, un ion de rapport $\frac{m}{q}$ donné, soumis à un champ électrique variable, caractérisé par sa fréquence f et le rapport $\frac{V_o}{V_1}$, est seul à pouvoir traverser le filtre. Tous les autres ions sont captés par les barreaux.

Nous remarquons que plus nous nous éloignons du point A, plus il existe, pour un rapport $\frac{V_o}{V_1}$ donné, de solutions de stabilité. Autrement dit, pour $\frac{V_o}{V_1}$ donné, f et r fixés, il existe de plus en plus de rapports $\frac{m}{q}$ pouvant satisfaire aux conditions de stabilité : la résolution du quadrupôle diminue.

Remarquons enfin que la fréquence intervient au carré et que l'erreur relative qu'elle peut introduire est donc double de celle due au rapport $\frac{V_o}{V_1}$.

2.3.3 - Moyens de réglage

Ces moyens peuvent être classés en deux catégories :

- d'une part, ceux définissant les conditions permanentes de fonctionnement du Spectromètre (paramètres statiques),

- d'autre part, ceux permettant la sélection des masses en fonction de leur rapport $\frac{m}{q}$ (paramètres dynamiques).

2.3.3.1. Paramètres statiques

Le réglage est effectué manuellement par un opérateur lors de l'étalonnage du spectromètre de masse. Les paramètres ainsi réglés sont les suivants :

- Très Haute Tension (T.H.T.) appliquée sur le multiplicateur d'électrons,
- Courant électronique d'ionisation,
- Tension d'extraction,
- Energie des électrons,
- Tension de focalisation,
- Energie des ions,
- Tension de déflexion du faisceau ionique.

L'optimisation de ces différents paramètres s'obtient en observant le spectre de masse obtenu soit sur un oscilloscope, soit sur un enregistreur potentiométrique.

2.3.3.2 - Paramètres dynamiques

Ces paramètres concernent essentiellement la sélection des masses, entre 1 et 150.

Comme nous l'avons vu au paragraphe 2.3.2., cette sélection dépend essentiellement de deux variables qui sont, d'une part la fréquence f et d'autre part le rapport $\frac{Vo}{Vl}$.

Il existe deux moyens pour faire correspondre un couple $(f, \frac{Vo}{Vl})_i$ à un rapport $(\frac{m}{q})_i$.

- le premier consiste à faire varier de façon continue le couple $(f, \frac{Vo}{Vl})$ de manière à couvrir toutes les masses m de charge q entre 1 et 150. Ce type de sélection correspond à un mode de fonctionnement autonome du Spectromètre.

- le second consiste à définir de façon discrète des couples $(f, \frac{Vo}{Vl})$ correspondant à des valeurs de masse comprises entre 1 et 150. Dans ce cas, le système de sélection du Spectromètre répond uniquement à des valeurs de tension de commande particulières et extérieures au Spectromètre.

2.3.4 - Ensemble de pompage

Cet ensemble est constitué par deux groupes de pompage indépendants et raccordés en parallèle à la tête du Spectromètre par les deux vannes pneumatiques du type ultra-vide, EV1 et EV2.

- Le premier groupe constitue le groupe de pompage "Mesure" (Voir figure n° 4). Il comprend :

  - Deux pompes secondaires à diffusion de mercure, montées en cascade, (Débit ≃ 150 l/s.) avec piège à azote liquide pour mieux piéger les gaz rares.

  - Une capacité de rejet montée à la sortie de ces deux pompes et dans laquelle un vide primaire est assuré par une pompe mécanique à palettes.

  - Trois jauges de contrôle du vide :

    . L'une, JBA2, contrôle le vide secondaire obtenu entre EV1 et l'amont de la pompe secondaire,

    . les deux autres, M1 et M2, mesurent la pression dans le réservoir sous vide primaire (R.V.).

  - Le second groupe ne comprend qu'une pompe ionique de 200 l/s. Celle-ci sert surtout de secours, en cas de défaillance du groupe à diffusion. Le passage de l'un à l'autre (ouverture et fermeture de EV1 et EV2) est entièrement automatique.

2.3.5 - Autres éléments associés au Spectromètre

- Une jaude de mesure (JBA1) contrôle la pression en amont des deux vannes EV1 et EV2. Avant l'introduction de l'échantillon, cette pression se situe entre 10^{-9} et 10^{-8} Torr, et JBA1 constitue essentiellement une sécurité pour la tête du Spectromètre.

- Tous les éléments constituant le circuit d'ultra-vide sont entièrement métalliques et étuvables à 300° C.

- Une liaison entre la pompe primaire et la tête du Spectromètre peut être obtenue par la vanne manuelle V1. Cette liaison permet le prévidage des circuits ultra-vides à la suite d'une remontée de pression dans ces derniers.

- Les circuits d'électronique servant au contrôle et à la mesure sont rassemblés dans une baie à proximité du bâti où sont regroupés l'ensemble de pompage, le quadrupôle et les circuits annexes.

- Une deuxième baie renferme l'alimentation de la pompe ionique, les alimentations des jauges primaires et secondaires et un enregistreur potentiométrique à deux pistes continues et indépendantes.

- Les circuits d'automatisme sont montés dans une troisième baie qui porte en outre sur sa face avant, un synoptique représentant l'ensemble du circuit et de ses composants, ainsi que les claviers à touches pour les commandes de séquences.

2.4 - Système de traitement des informations (Voir figure 7)

Ce système comprend :

- Dans la même salle que le spectromètre de masse, deux baies contenant :

  . l'une, des tiroirs mesure ainsi que des modules d'interface du standard CAMAC, servant de liaison entre calculateur et Spectromètre.

  . l'autre, le relayage des circuits d'automatismes pour une commande manuelle ou par calculateur, de la Ligne d'Enrichissement. Cette baie assure en outre la distribution électrique et porte, en face avant, un synoptique où l'état ouvert ou fermé des vannes pneumatiques est signalé en permanence. On trouve également sur cette face avant la clé de choix du mode de commande ("locale" ou "à distance", "automatique" ou "manuelle") et le clavier à touches lumineuses servant à demander une séquence automatique et à signaler l'état de cette séquence.

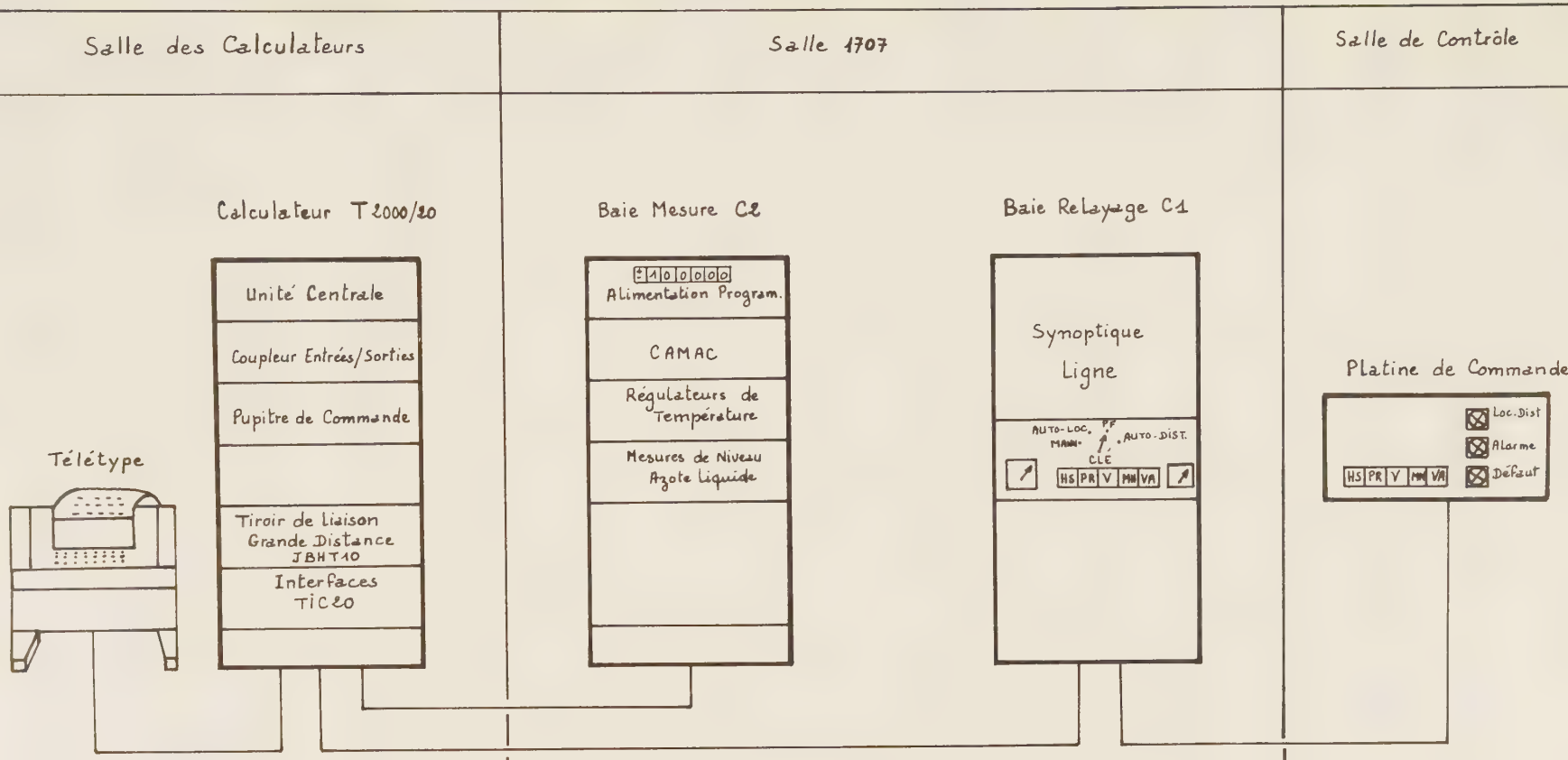
- Dans la salle des calculateurs :

  . un calculateur du type T 2000/20 de la Télémécanique (12 K mots de 19 bits),

  . un tiroir de transmission à distance des informations (Emission-Réception).

  . une télétype du type ASR 33.

Système de Traitement des Informations



- Dans la salle de contrôle, une platine portant deux claviers à touches lumineuses et trois verrines dont les rôles sont les suivants :

  . le premier clavier = commande automatique de mise en service, à l'arrêt ou en veille du spectromètre de masse (automatismes câblés),

  . le deuxième clavier = commande automatique de mise en service d'une séquence d'analyse, ou mise en veille ou à l'arrêt de la Ligne d'Enrichissement (automatismes programmés),

  . la première verrine signale si les claviers sont opérationnels ou non (Clé sur Commande Locale ou Commande à distance),

  . la deuxième verrine signale que le comptage obtenu sur le Xe^{126} est supérieur à un certain seuil (Alarme),

  . la troisième verrine signale d'une façon globale, un défaut soit sur le Spectromètre de Masse, soit sur la Ligne d'Enrichissement, soit sur le Calculateur.

- Dans la Salle de relayage, un circuit logique, à base de relais électromagnétiques assure le relayage entre le clavier de commande du Spectromètre, en salle de contrôle, et les circuits de Logique statique, implantés dans l'une des baies situées à proximité du Spectromètre.

3 - AUTOMATISMES

Sur une centrale nucléaire destinée à produire de l'énergie électrique, la marche continue et sans incident d'une installation est essentielle. Le personnel qui en assure l'exploitation a pour rôle de maintenir le matériel en bon état de fonctionnement et, en cas de défaillance, de le remettre en service dans les délais les plus brefs.

La multiplicité du matériel rencontré sur une Centrale, et parfois sa complexité, nécessiteraient la mise en place d'un personnel nombreux et très spécialisé si on n'admettait pas l'automatisation de certains systèmes.

D'autre part, le rôle de "Circuits de Sécurité" attribué à certaines installations, appelle, en cas de besoin, une intervention rapide et sûre, ce qui ne peut être assuré que par des circuits à commande automatique.

Dans le cas de la Localisation de Rupture de Gaine par traceurs, c'est la complexité de l'installation et l'impossibilité pratique devant laquelle se trouve le personnel exploitant pour effectuer, toutes les heures, l'analyse d'un échantillon de gaz fortement radioactif, qui nous ont poussés à automatiser cet ensemble.

Cette automatisation a d'ailleurs deux aspects différents, suivant qu'il s'agit de la mise en service et la protection du spectromètre de masse ou de la préparation de l'échantillon de gaz à analyser.

. Le Spectromètre de masse est un appareil sensible et précis et, de ce fait, très délicat à manipuler. Son utilisation fait appel à différentes techniques : ultra-vide et électronique essentiellement. Aussi toute intervention sur ce matériel ne peut, en général, être assurée par un agent chargé de la surveillance de nombreuses autres installations de la Centrale.

Ces raisons nous ont conduits à définir un certain nombre d'états du spectromètre et à mettre au point des séquences, demandées par clavier ou sur action automatique, et permettant de passer d'un état à l'autre.

. L'analyse de l'échantillon de gaz radioactif n'était pas possible sur une installation à commandes manuelles sans de nombreuses difficultés d'ordre pratique : lenteur des opérations, risques d'erreurs et risques d'irradiations pour l'opérateur. Ces raisons nous ont conduits à définir également des états pour la Ligne d'Enrichissement, ainsi que des séquences de ralliement de ces états.

Par ailleurs, la commande du spectromètre, la mesure et le dépouillement des résultats fournis par celui-ci, nécessitaient l'utilisation d'un calculateur. Une synchronisation parfaite entre la présentation de l'échantillon gazeux à l'entrée du spectromètre, la commande de ce dernier et l'acquisition des mesures étant nécessaires, il a été décidé d'accorder également au calculateur la fonction "Automatisme Ligne".

Nous allons donc aborder séparément les fonctions d'automatismes : câblés en ce qui concerne le spectromètre de masse, câblés et programmés en ce qui concerne la Commande de la Ligne.

3.1 - Automatismes câblés

Ce type d'automatismes s'applique au spectromètre de masse.

3.1.1. Principes adoptés

L'automatisme câblé a été élaboré en considérant trois niveaux différents :

- Le premier niveau est assuré par le clavier de commande, placé soit en local, soit à distance.
- Le second niveau concerne la "Mémoire d'Etat".

  Celle-ci se met soit dans un Etat "EN" (mémoire armée), soit dans un État "Hors" (mémoire désarmée) suivant la demande faite au clavier et les autres conditions permettant l'une de ces deux commandes.

  Le changement d'état-mise "HORS" de la mémoire (c'est-à-dire Mémoire "désarmée") est prioritaire en cas de demande simultanée sur les deux entrées.
- Le troisième niveau concerne les conditions particulières. Il a pour aboutissement le contacteur final qui agit directement sur le système.

La signalisation lumineuse est assurée à l'intérieur même du clavier de commande dont les touches sont de deux types : les unes à accrochage et à exclusion mutuelle, permettent seulement de faire un choix unique de séquence ; les autres, fugitives, servent à la validation du choix fait par les touches précédentes.

Le clavier placé en local sur la face avant de la "baie automatisme" du spectromètre de masse, n'a pas de signalisation, ceci ayant peu d'intérêt puisque l'opérateur éventuel se trouve alors forcément sur place et peut, grâce à un synoptique lumineux, également en local, contrôler facilement l'état de l'installation.

Le clavier se trouvant en salle de contrôle possède par contre une signalisation lumineuse. Cette signalisation obéit aux règles résumées dans le tableau suivant :

ETAT DE CONFIGURATION	ACTION DE L'OPERATEUR	SIGNALISATION	INTERPRETATION
Changement de choix de configuration	Sélection de la touche (avec accrochage)	Lampes plein feu : 1) touche sélectionnée 2) touche de la configuration exécutée	Discordance normale. La position de touche de sélection ne correspond pas à la position "exécutéee" de la configuration
Ordre d'exécution	Pousser sur touche de validation (pas d'accrochage)	Lampe clignotée : Touche sélection	Ordre donné et en cours d'exécution
Temps trop long d'exécution (T.T.L.E.)		Lampes clignotées : 1) touche sélection 2) touche de validation	La configuration ne s'est pas établie dans le temps imparti
Concordance de position		Lampe éteinte : touche sélection	Fonctionnement normal
Indisponibilité de l'un des actionneurs		Lampe plein feu : touche de validation	N'apparaît que pour les actionneurs concernés par la configuration qui est sélectionnée
Perte d'un ou plusieurs actionneurs		Lampes plein feu : 1) touche sélectionnée 2) éventuellement touche validation	La configuration sélectionnée n'est plus exécutée en totalité

3.1.2 - Séquences assurées

Le spectromètre de masse peut se trouver dans l'un des quatre états suivants :

- Arrêt (Hors-Service)
- Marche Générale
- Marche Veille
- Marche Mesure

Les séquences pouvant être demandées pour passer d'un état à l'autre sont :

- Arrêt ⇄ Marche Générale
- Arrêt ⇄ Marche Veille
- Arrêt ⇄ Marche mesure
- Marche générale ⇄ Marche Veille
- Marche Générale ⇄ Marche Mesure
- Marche Veille ⇄ Marche Mesure

Parmi les quatre états possibles du spectromètre, deux d'entre eux sont particulièrement importants : ce sont les états de marche en VEILLE et de marche en MESURE.

3.1.3 - Circuits logiques d'une demande de Séquence de mise en VEILLE et d'une demande de Séquence de mise en MESURE.

3.1.3.1 - Séquence de mise en "VEILLE" (Voir figure n° 8)

Conditions préalables

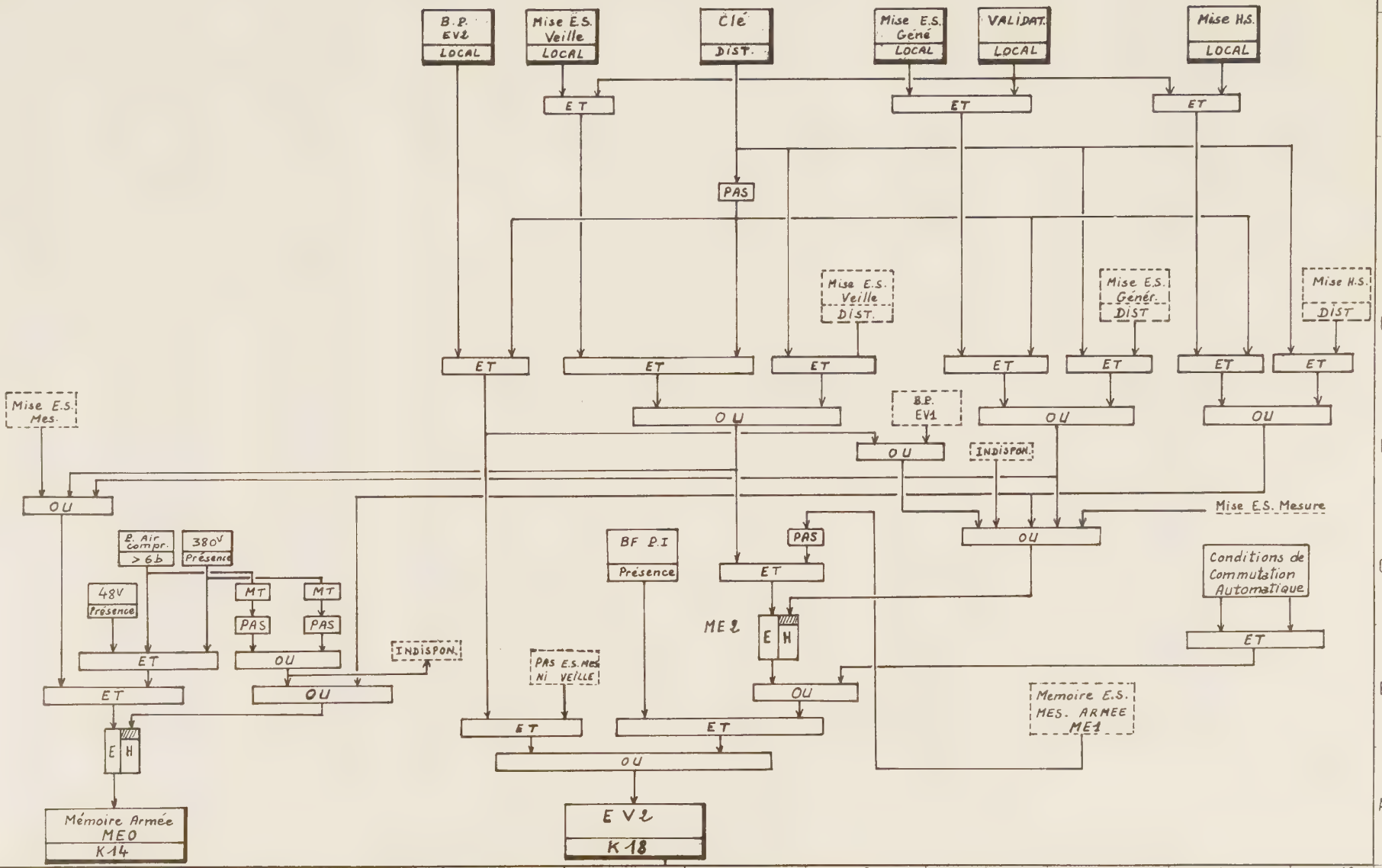
L'utilisation des circuits d'automatismes nécessite un minimum de précautions. Suite à un arrêt prolongé de l'installation ou à une intervention ayant conduit à la mise à la pression atmosphérique des circuits internes du Spectromètre, l'opérateur doit préalablement réaliser un "vide préliminaire" dans ces circuits. Pour cela, il place une clé située sur la baie de commande locale, sur position "Vide Préliminaire". Ceci aura pour effet, quand la mémoire "Marche Générale" sera armée, de mettre en service la pompe primaire.

L'ouverture de la vanne manuelle V1 permet alors de réaliser un vide primaire (10^{-2} torr environ) dans les circuits internes du spectromètre.

Réalisation de la séquence de Mise en Veille

- Conditions initiales :
  - . Présence de 48 V continu,
  - . Présence de 220 V alternatif,
  - . Présence d'air comprimé.

Mise en Service Veille et Hors Service du Spectromètre de Masse



- Commande de la séquence :

. Suivant la position de la clé "Local-distance", cette commande se fait à partir du clavier situé sur la baie locale ou en Salle de Commande.

. La commande se fait en sélectant la touche "Mise en Service VEILLE" (à accrochage) et en appuyant ensuite sur la touche fugitive VALIDATION. Ceci a pour effet de faire basculer, d'une part la mémoire "Marche Générale ME0" et, d'autre part la mémoire d'état ME2 commandant l'ouverture de la vanne pneumatique EV2.

Une fois ME2 armée, le contacteur final K18 sera excité si la pompe ionique est en bon état de fonctionnement (présence du B.F. P.I.).

Le vide primaire ayant été préalablement réalisé, l'ouverture de la vanne pneumatique ultra-vide EV2 permet alors à la pompe ionique de faire descendre la pression progressivement dans le spectromètre, approximativement à 10^{-9} Torr. Le courant débité par la pompe ionique, qui peut atteindre au démarrage 2 ampères, n'est plus alors que de quelques micro-ampères.

. L'ordre d'ouverture de EV2 (enclenchement du contacteur K 18) permet également de demander l'enclenchement de la jauge secondaire, type Bayert-Alpert n° 1. Celle-ci a pour rôle de contrôler le vide dans la tête du spectromètre,et ses circuits électroniques propres la protègent contre toute surpression. Un commutateur de sélection, placé sur son alimentation, permet de choisir sa sensibilité de mesure ainsi que son seuil de déclenchement automatique. La demande d'enclenchement de JBA1 est en outre conditionnée par (Voir fig. n° 10) :

- la présence effective du 48 V continu,
- la non demande d'ouverture directe de EV2 (fonction particulière).

La demande est maintenue pendant 20 secondes, même si la sécurité propre à l'alimentation de la jauge interdit l'enclenchement.

Si JBA1 s'enclenche et reste enclenchée, un circuit d'auto-maintien permet de conserver cette demande au niveau de l'actionneur K 17, même en cas de désarmement de la mémoire ME2.

En résumé, quand on a une demande d'ouverture de EV2 (fonctionnement en VEILLE), le but recherché est de pouvoir apprécier le "vide" atteint en demandant l'enclenchement automatique de JBA1, en accord avec sa propre sécurité. Une fois enclenchée, JBA1 reste en service tant que sa sécurité interne le permet.

L'état de "Mise en Veille" est atteint lorsque EV2 est ouverte (EV1 obligatoirement fermée) et que"JBA1 enclenchée" permet de dire que la pression interne du spectromètre est inférieure à un seuil préréglé sur l'alimentation de JBA1.

3.1.3.2 - Séquence de Mise en "MESURE" (Voir figure n° 9)

- Conditions préalables

. On peutdemander directement la Mise en "Mesure" du spectromètre, auquel cas les précautions à prendre sont strictement les mêmes que lors de la demande de mise en VEILLE. Mais en général, on préfère commencer par atteindre l'état de VEILLE et ensuite effectuer un passage automatique de VEILLE en MESURE.

Quel que soit l'état demandé - Veille ou Mesure - la mémoire Marche Générale ME0 s'arme en même temps que ME1 ou ME2.

- Conséquences du basculement de ME0

. Une fois ME0 basculée, on doit obtenir instantanément l'enclenchement des contacteurs suivants :

C 9 = Distribution du 380 V triphasé,

C 10 = Distribution du 220 V monophasé,

C 11 = Distribution du 48 V continu,

C 7 = Alimentation des jauges primaires M1, M2, M3,

C 8 = Alimentation de la pompe ionique et de la jauge JBA1.

- Réalisation de la Séquence de Mise en MESURE

. Elle se réalise suivant un processus quasi-identique à celui de la Séquence de Mise en VEILLE. La mémoire ME1 est armée après sélection de Mise en Service MESURE au clavier et Validation. L'ouverture de la vanne pneumatique ultra-vide EV1 ne peut toutefois se faire qu'à condition qu'il n'y ait pas d'étuvage en cours et que l'on ait l'information : "Bon fonctionnement du Groupe à diffusion".

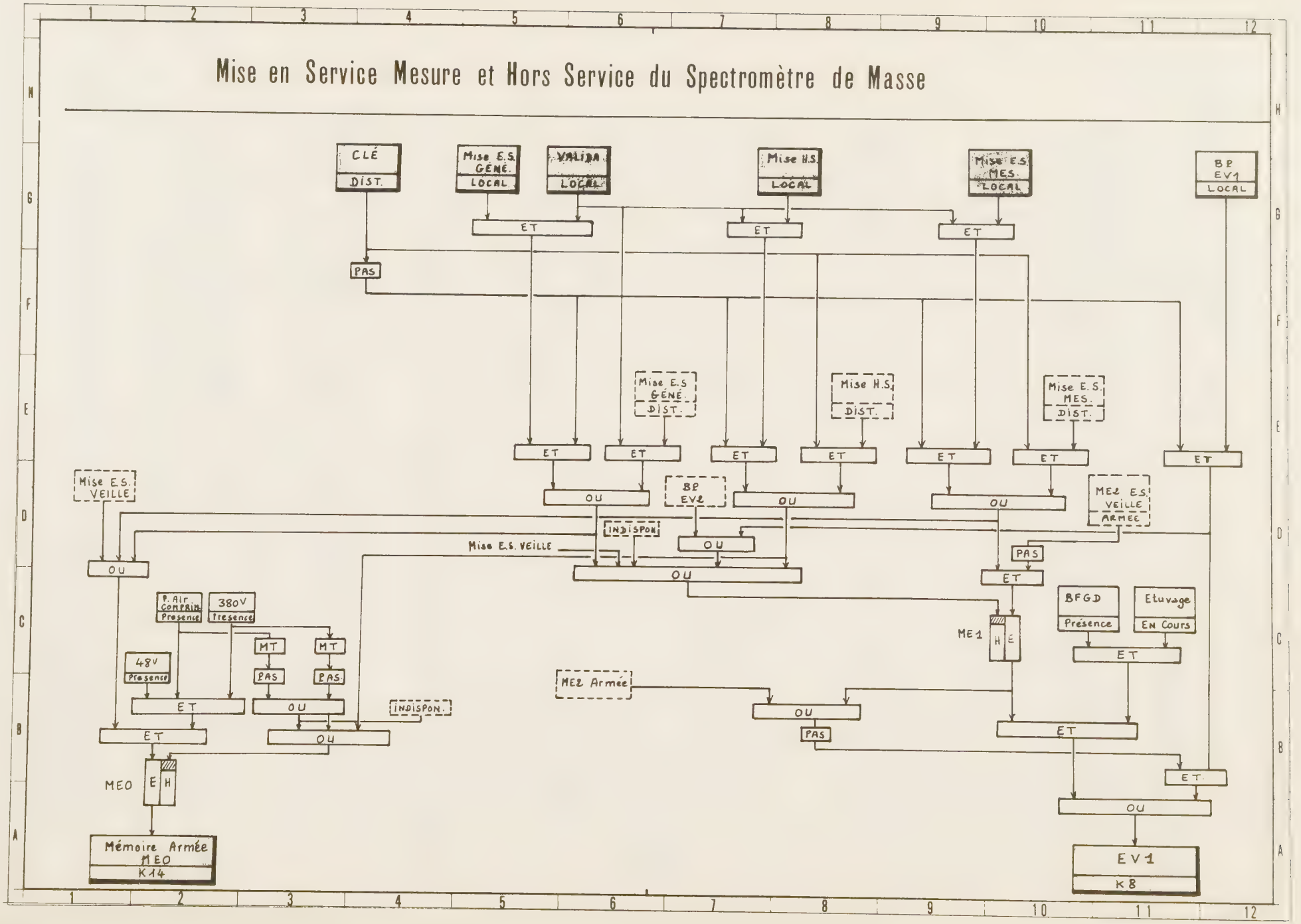
Cette information est élaborée séparément lorsque la mémoire générale ME0 est armée. Elle regroupe quatre informations relatives au Groupe à diffusion de mercure et à son piège à azote liquide, à savoir :

- la mise sous tension de la résistance de chauffage de la pompe,
- le contrôle de la mise sous tension du compresseur servant également de source froide à la pompe secondaire,
- le contrôle de la mise sous tension du tiroir alimentation de jauge de pression JBA2,
- le niveau d'Azote liquide est supérieur au "Niveau Bas" dans le Piège.

L'ensemble de ces cinq informations réunies constitue l'information "Bon Fonctionnement du Groupe à Diffusion" (B.F.G.D.).

Par ailleurs, on remarquera que la séquence de mise en service de JBA1 lors d'une demande de MISE EN MESURE est identique à celle d'une demande de MISE EN VEILLE (Voir Fig. n° 1).

Mise en Service Mesure et Hors Service du Spectromètre de Masse



3.1.3.3 - Passage automatique de MESURE en VEILLE et inversement (Voir figure n° 10)

L'état quasi-permanent du spectromètre est l'état MESURE.

En cas d'incident, essentiellement au niveau du Groupe de pompage à diffusion de mercure, il est intéressant de conserver l'ultra-vide dans le spectromètre. Il faut par conséquent passer immédiatement de l'état "MESURE" à l'état de VEILLE, c'est-à-dire en service sur pompe ionique.

Les circuits logiques réalisés permettent ceci. Un défaut sur le Groupe à diffusion se traduit par la perte du B.F.G.D. Cette information a pour effet immédiat la fermeture de EV1 et la demande d'ouverture d'EV2. Il est à remarquer que les deux mémoires ME1 et ME2 ne changent pas d'état et restent par conséquent en conformité avec l'état du clavier. Donc, en cas de disparition du défaut, l'installation revient à son état initial.

Par contre l'état VEILLE ne peut en aucun cas être secouru par l'état MESURE. On considère en effet que si l'installation a été placée volontairement en état de VEILLE, on ne peut sans risque la placer automatiquement, sur incident, dans un état plus élaboré et donc plus difficile à conserver en permanence. Par conséquent, l'installation étant en VEILLE, en cas d'incident (perte du bon fonctionnement de la pompe ionique par exemple) les vannes pneumatiques EV1 et EV2 sont fermées toutes les deux. La mémoire ME2 reste armée et le retour de BF PI provoque l'ouverture immédiate de EV2.

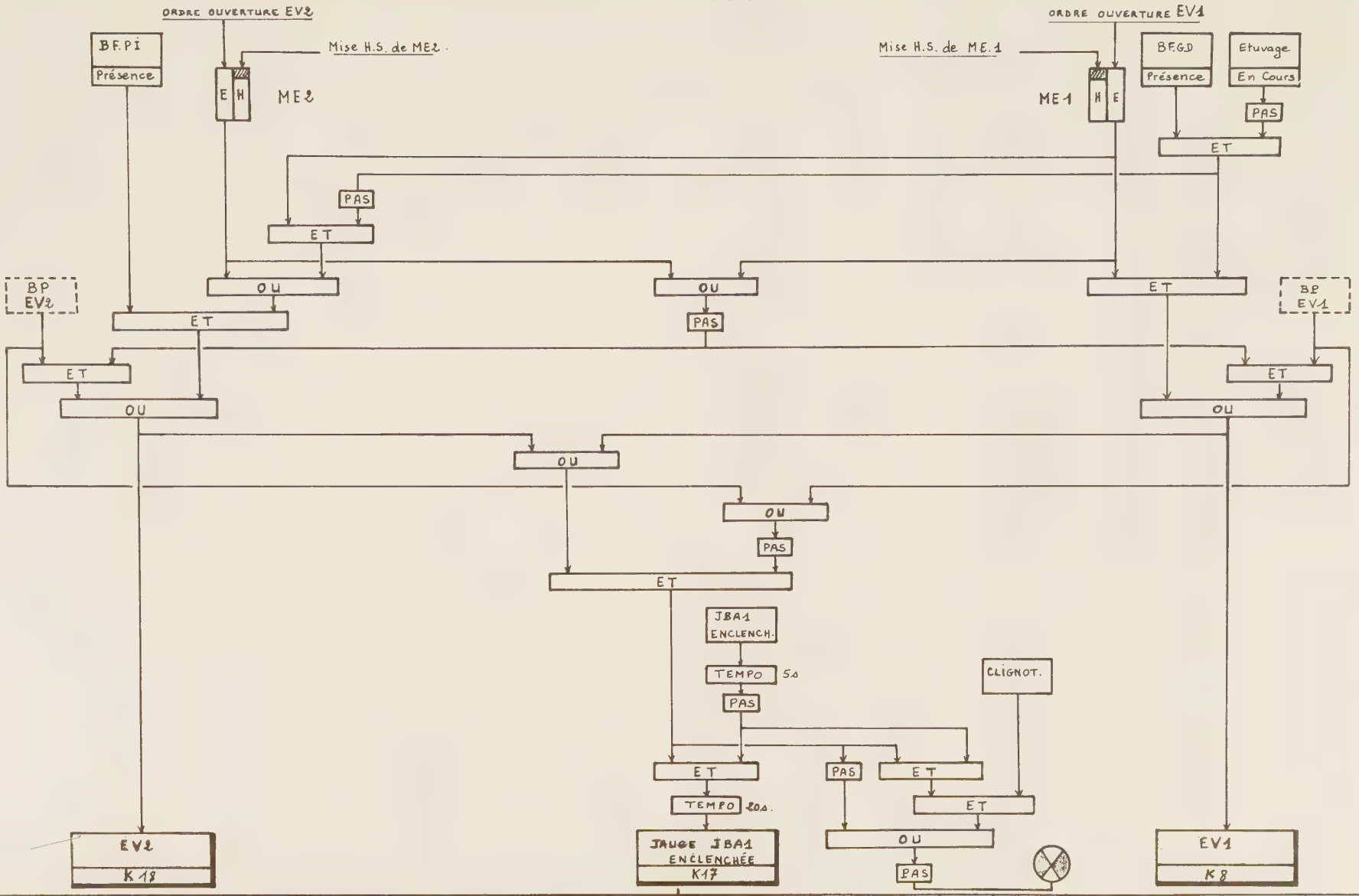
On remarque, d'autre part, que les deux mémoires ME1 et ME2 sont à "mise HORS" prioritaire et à auto-verrouillage mutuel. Autrement dit, il n'est pas possible, au niveau de la commande, de demander l'ouverture simultanée de EV1 et EV2. Toutefois, en commande locale uniquement, une demande d'ouverture simultanée de EV1 et EV2 a été rendue possible par une commande directe en aval de ME1 et ME2. Cette commande est uniquement destinée à des opérateurs avertis et sert, par exemple, lors de phases de maintenance ou de prévidage des circuits avant démarrage. Ces deux commandes directes annulent toute autre commande faite au clavier normal, en désarmant les deux mémoires ME1 et ME2.

3.1.4 - Autres circuits logiques

Il existe d'autres circuits logiques importants dont on trouvera les schémas en Annexe 1. Ils assurent les fonctions suivantes :

- Etuvage automatique du spectromètre et de la pompe ionique,
- Remplissage automatique du piège à azote liquide,
- Commande automatique des vannes pneumatiques EV3, EV3bis et EV4,
- Enclenchement de la jauge JBA2,
- Commande automatique de mise en service de la pompe primaire.

Commutation Mesure-Veille et Mise en Service de JBA1



3.1.5. - Technologie

Tous les circuits logiques câblés ont été réalisés au moyen d'éléments fonctionnels SILIMOG, de fabrication MERLIN-GERIN.

Ces modules standards ont l'avantage d'être d'une utilisation très souple, permettant pratiquement de passer à la réalisation à partir du schéma logique.

Les modules sont fixés par vis à une plaque métallique rigide, à l'intérieur de la baie. Chaque module est repéré en coordonnées XY, ce qui rend leur contrôle particulièrement aisé.

Les liaisons entre modules sont réalisées par fils préfabriqués munis à leurs extrémités de clips s'adaptant directement sur bornes d'entrée et de sortie.

Tous les circuits sont alimentés à partir d'une tension d'alimentation unique (48 volts continu).

Les temporisations sont assurées, pour les faibles constantes de temps, par les modules SOLIMOG, et pour les fortes constantes de temps, par des minuteries CROUZET. Les organes de commande sont des relais de moyenne puissance de marque M.T.I.

3.2 - Automatismes programmés

3.2.1 - Organisation générale des programmes

L'ensemble des tâches du système est géré par un Moniteur, le Software Industriel de Base (S.I.B.). Celui-ci se présente comme un ensemble de programmes conçus pour satisfaire les problèmes courants et plus précisément les fonctions usuelles de "data-logging", surveillance et signalisation des signaux Tout ou Rien (T.O.R.) ou analogiques (mesures) relatifs à des processus industriels contrôlés par des calculateurs du type T 2000.

Le noyau du système est constitué par un moniteur d'enchaînement des tâches et un module de gestion des entrées-sorties, qui servent de support aux programmes d'application qui sont eux-mêmes constitués, soit par des programmes standards, soit par des programmes écrits par l'utilisateur, pour résoudre les problèmes spécifiques de son processus.

Plus précisément, la fonction "Moniteur" du S.I.B. permet :

- l'enchaînement des programmes d'application, suivant une priorité fixée par l'usager,
- la gestion du cadenceur (horloge temps réel) qui permet l'appel de certains programmes à intervalles de temps fixes ou des temporisations,
- la gestion des app prioritaires issus des périphériques ou du processus,
- la gestion des entrées-sorties par l'intermédiaire du module "entrées-sorties".

Dans le cas de la présente utilisation, les programmes d'application peuvent être classés en trois catégories distinctes :

- les programmes d'acquisition des mesures et de calcul ,
- les programmes d'automatisme de la ligne,
- les programmes de surveillance.

. Les programmes de calcul ont été écrits en langage assembleur et constituent une tâche particulière du S.I.B., la tâche SECCAL.

. Les programmes d'automatisme et de surveillance de la Ligne ont été écrits en langage AUTOL T 2000.

3.2.2 - Présentation du langage AUTOL T 2000

Le langage AUTOL T 2000 est un langage interprétatif permettant de faire des opérations logiques sur des variables binaires.

Son domaine principal d'application est l'automatisme séquentiel.

Les opérations élémentaires, bases de ce langage, permettent de traiter individuellement les variables binaires.

3.2.2.1 - Les variables

Les variables binaires utilisées représentent :

- soit des variables TOUT OU RIEN scrutées périodiquement par le calculateur, représentant par exemple des états de contacts en provenance du processus,

- soit des variables internes, créées à partir des autres variables binaires, indiquant par exemple qu'un sous-ensemble est en service.

- soit des variables binaires reflétant l'état de comparaison entre des variables analogiques scrutées ou calculées et des seuils.

L'ensemble de ces variables est regroupé dans une table appelée "T.E.A.", chaque bit de cette Table représentant l'état actuel de validité d'une de ces variables. La capacité maximale de cette Table est de 32 lignes de 19 variables.

3.2.2.2 - Les opérations élémentaires

Les opérations élémentaires peuvent être classées en six groupes, suivant la fonction générale qu'elles permettent de réaliser :

FONCTION	OPERATIONS ELEMENTAIRES *
Test de variables	TVAR, TATT, TMEM
Impression	ESIG, SIDI, SIDG, IMCØ
Temporisation	TEMPI, TEMPC
Envoi d'ordres	ETØR
Mémorisation	AFVV, MEMØ, RANG
Branchement	RIEN, FINI, FAIRE, SAUT, AIGU

* La signification précise de chaque opération élémentaire est donnée au paragraphe 3.2.2.6., lors de l'analyse des instructions AUTOL.

Les opérations élémentaires utilisent les Tables suivantes, implantées en mémoire centrale :

- Table T.E.A. : 32 mots de 19 bits au maximum,

- Table T.M.T. : Table de travail (liaisons avec les autres programmes) comprenant au maximum 64 mots de 19 bits.

- Table T.S.A. : Table des états TOUT OU RIEN à sortir : elle est remplie par les ordres résultant de l'opération ETØR : 32 mots de 12 bits au maximum.

3.2.2.3 - Les Séquences

Les opérations élémentaires sont regroupées suivant un organigramme vertical, en séquences d'automatisme. Ces séquences, qui correspondent à une entité physique du processus (Ligne d'enrichissement dans le cas présent) peuvent être découpées en sous-séquences. Ces sous-séquences correspondent à des phases distinctes de l'entité définie ci-dessus.

Ce seront par exemple :

- la préparation,

- la marche en veille,

- la marche normale,

- l'arrêt.

Chaque sous-séquence forme un ensemble indépendant. Elles sont mises en oeuvre par différents événements :

- le changement d'état d'une variable binaire,

- l'heure. Une sous-séquence peut être déroulée soit cycliquement, soit à des heures déterminées,

- l'appel par une autre sous-séquence,

- la demande de l'opérateur par l'intermédiaire d'un pupitre, d'une télétype ou d'un écran "Visualisation-dialogue".

3.2.2.4 - La mise en oeuvre

Une fois les organigrammes AUTOL écrits, il est nécessaire de transformer les informations qu'ils contiennent sous une forme assimilable par le calculateur.

Les opérations à effectuer sont les suivantes :

- transcription des organigrammes AUTOL sur cartes perforées,

- génération, à partir de ces cartes, au moyen d'un "macro-Assembleur", d'un ruban perforé en langage Assembleur assimilable par l'Assembleur du T 2000,

- assemblage du ruban perforé en mémoire.

Après assemblage, les séquences AUTOL apparaissent sous forme de tableaux de mots binaires.

3.2.2.5 - Exécution des Séquences AUTOL

Le langage AUTOL étant un langage interprétatif n'est pas immédiatement assimilable par le calculateur.

Le déroulement d'une séquence AUTOL est assuré par un programme spécial : l'Interprète.

Ce programme est essentiellement constitué par une tâche, dite tâche AUTOL, dont le but est de décoder les instructions AUTOL et de prendre les décisions qu'elles imposent.

L'interprète, au même titre que toutes les autres tâches du système (tâches d'édition, de dialogue, de scrutation) peut être géré par le moniteur du Software Industriel de Base (S.I.B.).

- Il peut arriver que, dans un processus, il existe des sous-ensembles identiques : S_0 , S_1 , ... S_n. Il suffit alors d'écrire les séquences AUTOL relatives à l'un d'entre eux, S_0 par exemple et, moyennant certaines précautions, il sera possible de les exécuter pour S_1 , S_2 .... S_n.

  Pour obtenir les variables binaires de S_i à partir des variables binaires de S_0 , il suffit d'ajouter à ceux-ci une constante H_i , appelée constante de répétitivité, caractéristique du sous-ensemble S_i. Aussi, une séquence AUTOL se déroulant pour un sous-ensemble particulier, un numéro de séquence à exécuter est toujours suivi d'une constante de répétitivité éventuellement nulle s'il s'agit de S_0 ou d'un organe unique du processus.

- Le déroulement des séquences AUTOL est linéaire. Il n'y a pas de séquences plus urgentes que d'autres. Si une séquence en appelle une autre, l'interprète va contrôler le déroulement de la séquence appelée, puis le retour à la séquence appelante.

Les numéros des séquences à exécuter sont empilés dans une table cyclique. L'interprète les déroule l'une après l'autre dans l'ordre d'attente.

3.2.2.6 - Analyse des Instructions AUTOL

Remarques préliminaires

L'interprète contrôle les paramètres de chaque instruction par rapport à une valeur maximale admise dans un système déterminé. Ceci a pour but de détecter les erreurs éventuelles du programmeur AUTOL et aussi d'aider à la mise au point des séquences AUTOL.

Les valeurs maximales admises sont fixées à la génération de l'interprète. On doit noter que ces valeurs sont limitées supérieurement par

le nombre de bits du mot machine qui leur sont alloués.

La liste des paramètres ainsi que leurs bornes supérieures sont données ci-dessous :

+ NMVEX } ≤ 32 ..... Nombre de mots de variables externes
+ NMVIN } ..... Nombre de mots de variables internes

+ NMSA ≤ 32 ..... Nombre de mots (12 bits) des variables de sortie

+ NBMT ≤ 64 ..... Nombre de mémoires de travail

+ MAXSEQ ≤ 128 ..... Nombre max de séquences déroulées par FAIRE

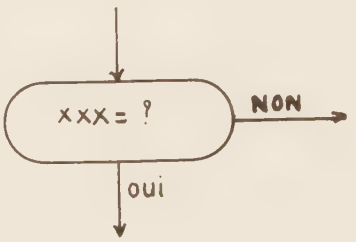
+ MAXS ≤ 1024 ..... Valeur maximale admissible pour le Saut

+ MAXNG ≤ 1048 ..... Valeur maximale du nombre de sous-groupes formant un groupe

+ NBTØP ≤ 2048 ..... Nombre de top-utiles dans l'unité de temps "TEMPI"

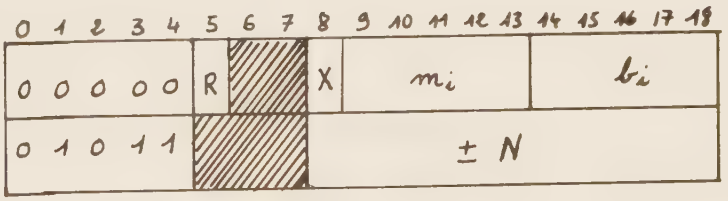
1) INSTRUCTION n° 1 : TEST D'UNE VARIABLE

- Symbole



- Sigle : TVAR

- Mot machine :



L'interprète considère les deux mots générés comme deux opérations élémentaires, la seconde étant le SAUT.

R : Répétitivité ; si R = 1 , la variable est répétitive

X : Sens du saut

mi bi : adresse de la variable binaire, bit b_i du mot m_i de la table TEA des états actuels.

± N : valeur du saut en avant ou en arrière

- Opération

La valeur de la variable. obtenue grâce à son adresse = rang b_i du mot m_i (+ valeur de l'homologue si R = 1) de TEA est testée.

Si elle est conforme à celle donnée par X, l'opération suivante exécutée sera N mots en avant (si + N) ou en arrière (si - N). Sinon, c'est l'opération suivante qui sera exécutée.

- Limites

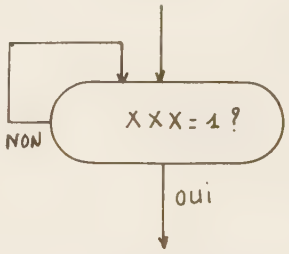
$m_i \leq 31$ $b_i \leq 38$ et $m_i \leq$ NMVEX + NMVIN

$-1023 \leq N \leq 1023$ et $-$ MAXS $\leq N \leq +$ MAXS

MAXS étant un paramètre à fixer.

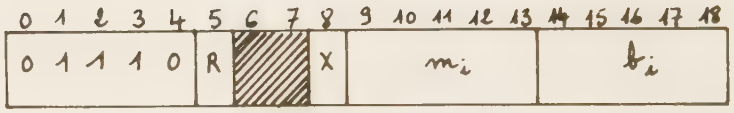
2) INSTRUCTION n° 2 : TEST D'UNE VARIABLE BINAIRE AVEC ATTENTE

- Symbole



- Sigle : TATT

- Mot machine :



R : Répétitivité

X : Sens du saut

mi bi : adresse de la variable binaire de la table TEA des états actuels.

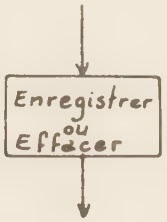
- Opération

La valeur de la variable, obtenue grâce à son adresse = rang b_i du mot m_i (+ valeur de l'homologue si R = 1) de TEA est testée.

Si elle est différente de celle donnée par X, l'opération suivante est exécutée, sinon il y a temporisation et attente jusqu'à ce que la variable change d'état.

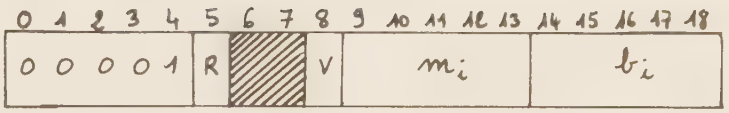
3) INSTRUCTION n° 3 : AFFECTATION D'UNE VALEUR A UNE VARIABLE

- Symbole



- Sigle : AFVV

- Mot machine :



R : Indication de la répétitivité

V : Valeur 0 ou 1 à affecter

mi bi : Repère de la variable dans la table TEA.

- Opération

La valeur V (0 ou 1) est affectée à la variable repérée par m_i , b_i , (H).

- Limites

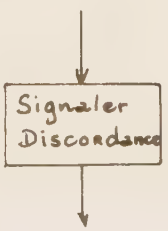
$$m_i \leq 31 \quad , \quad b_i \leq 18$$

D'autre part, si NMVEX est le nombre de mots des variables externes et NMVIN le nombre de mots des variables internes, la limite supérieure de m est :

$$m_i \leq \text{NMVEX} + \text{NMVIN}$$

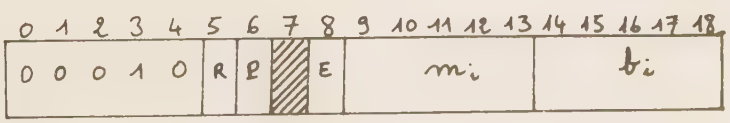
4) INSTRUCTION n° 4 : SIGNALISATION D'UNE DISCORDANCE

- Symbole



- Sigle : SIDI

- Mot machine :



R : Répétitivité

E : Etat de référence

mi bi : Repère de la variable dans la table TEA

P : Périphérique de sortie de la discordance.

- Opération

La variable repérée par m_i b_i est comparée à son état de référence indiqué par E.

La discordance est signalée sur le périphérique indiqué par P.

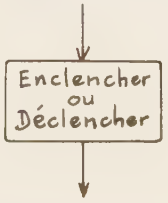
- Limites

$$m_i \leq 31 \quad , \quad b_i \leq 18$$

D'autre part, $m_i \leq$ NMVEX + NMVIN

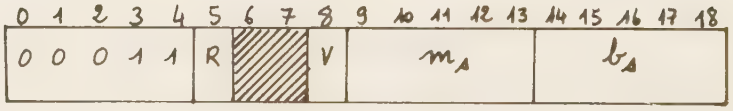
5) INSTRUCTION n° 5 - EMISSION D'UN ORDRE TOUT OU RIEN

- Symbole



- Sigle : ETØR

- Mot machine :



R : Répétitivité

V : Valeur 0 ou 1 à sortir

ms bs : Repère du Tout ou Rien à sortir.

- Opération :

Le relais désigné par m_s b_s est ouvert ou fermé suivant la valeur de V.

- Limites : $m_s \leq 31$, $b_s \leq 11$

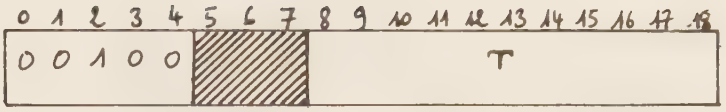
D'autre part, $m_s \leq$ + NMSA, où NMSA est le nombre de mots de 12 bits des variables de sortie.

INSTRUCTION n° 6 : TEMPORISATION INCONDITIONNELLE

- Symbole :

- Signe : TEMPI

- Mot machine :



T : Valeur de la temporisation exprimée dans une unité
U = NBTØP X tu

. tu est l'unité de temps cadenceur (top utile).

. NBTØP est une constante positive fixée à l'assemblage une fois pour toutes.

- Opération

Temporisation d'une séquence AUTOL pendant une durée correspondant à T unités u.

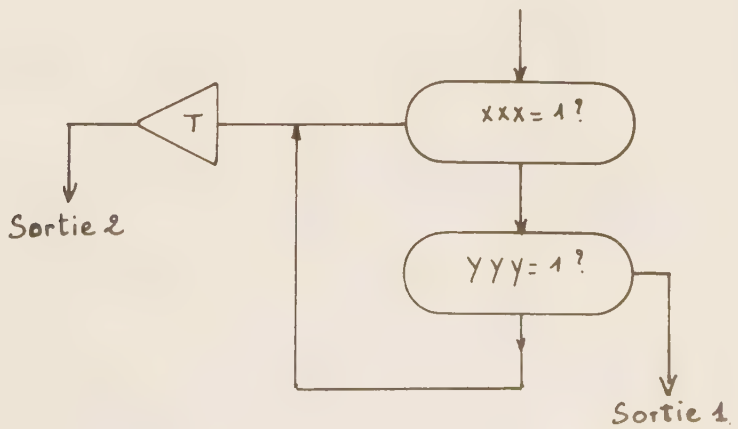
- Limite

$$T \leq 2047 \text{ tu}$$

Exemple : Si tu = 20 ms et NBTØP = 5, l'unité de temporisation sera de U = 1/10 de seconde et T $\leq$ 40,94 secondes.

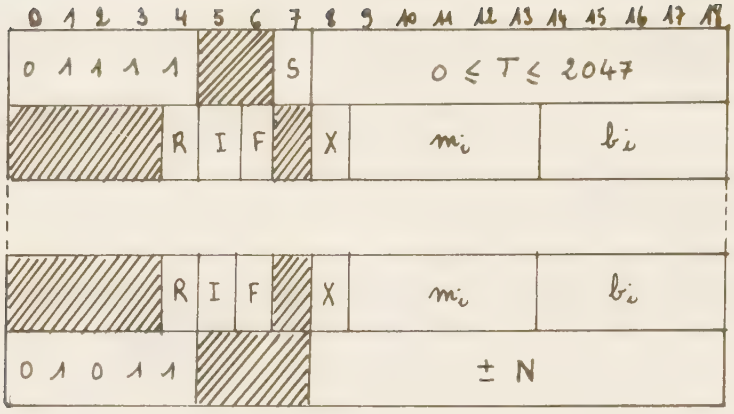
INSTRUCTION n° 7 : TEMPORISATION CONDITIONNELLE : TEMPC

- Symbole :



- Sigle : TEMPC

- Mot machine :



S : Sens du saut : S = 1 : saut pour temps écoulé

S = 0 : saut pour condition réalisée

T : Valeur de la temporisation

R : Répétitivité

I : Indique la fin d'un produit booléen si I = 1

F : Indique la dernière condition si F = 1

X : Valeur recherchée pour la variable testée

mib : Adresse de la variable binaire de la Table des Etats Actuels (T.E.A.)

$\pm$ N : Valeur du saut

- Opération :

On définit une condition C sous forme d'une somme logique de produits booléens :

$$C = A_1 A_2 A_3 \ldots A_n + D_1 D_2 \ldots D_m + \ldots Z_1 Z_2 \ldots Z_p$$

Si la condition n'est pas réalisée (c'est-à-dire si l'état des variables dans T.E.A. est différent des réponses attendues), il y a temporisation, avec réexamen périodique de la condition jusqu'à ce que :

- soit C se réalise et alors l'opération suivante exécutée sera celle donnée par S (Saut à $\pm$N si N = 0 ou poursuite en séquence si S = 1).

- soit la temporisation T est écoulée avant que la condition se soit réalisée et alors, il y aura saut à $\pm$ N si S = 1 ou poursuite en séquence si S = 0.

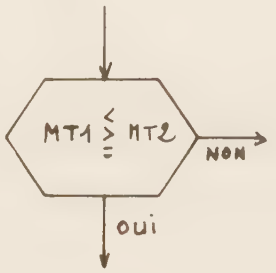
- Donc :

S = 1 : Poursuite en séquence si condition réalisée dans les délais prescrits et saut si non ;

S = 0 : Poursuite en séquence si délais écoulés avant que la condition ne soit réalisée et saut si non.

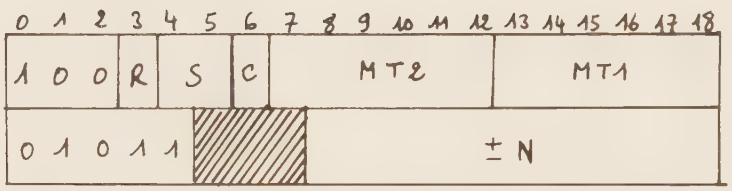
8) INSTRUCTION n° 8 : TEST D'UNE MEMOIRE DE TRAVAIL

- Symbole :



- Sigle : TMEM

- Mot machine :



R : Répétitivité (elle porte sur MT1 uniquement)

S : Indication de la comparaison (< , > ou =)

C : Indique que MT2 est une constante si C = 1,
Si C = 0, c'est une adresse

MT2 : Constante ou adresse d'une mémoire travail.

MT1 : Adresse d'une mémoire de travail.

- Opération

Le contenu de la mémoire MT1 est comparé à l'opérande MT2 (si C = 1), ou au contenu de MT2 (si C = 0). La comparaison est indiquée par S.

S = 00 ⟶ MT1 = MT2 ?

S = 01 ⟶ MT1 > MT2 ?

S = 10 ⟶ MT1 < MT2 ?

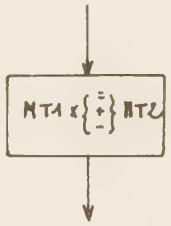
Si la condition est vérifiée, l'instruction suivante à exécuter est N mots en avant (+ N) ou en arrière (- N).

- Limites

$S \leq 2$ $\quad MT2 \leq 63$ $\quad MT1 \leq 63$ $\quad |N| \leq 1023$

9) INSTRUCTION n° 9 : AFFECTATION D'UNE VALEUR A UNE MEMOIRE DE TRAVAIL

- Symbole



- Sigle : MEMO

- Mot machine :

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0	1	R	S		C	MT2						MT1					

R : Répétitivité (elle porte sur MT1 uniquement)

S : Indication de l'opération à effectuer (=, +, ou -)

C : indique que MT2 est une constante par C = 1 ou une adresse par C = 0.

MT2 : Constante ou adresse d'une mémoire de travail

MT1 : Adresse d'une mémoire de travail.

- Opération

L'opérande MT2 si C = 1, ou le contenu de MT2 si C = 0, est transféré suivant la condition S en MT1.

S = 00 $\quad$ MT1 : = MT2

S = 01 $\quad$ MT1 : = MT1 + MT2

S = 10 $\quad$ MT1 : = MT1 - MT2

- Limites

$S \leq 2$ $\quad$ MT2 et MT1 ≤ 63

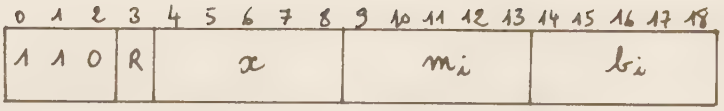
D'autre part, si NBMT est le nombre total de mémoires de travail, on vérifie que MT2 et MT1 $\leq$ + NBMT.

10) INSTRUCTION n° 10 : RANGEMENT D'UNE VARIABLE DANS UNE MEMOIRE DE TRAVAIL A UNE POSITION A DEFINIR

- Symbole

- Sigle : RANG

- Mot machine :



R : Répétitivité

x : Position de la variable après rangement

mi bi : Repère de la variable dans la table TEA.

- Opération

La variable repérée par m_i b_i est rangée en position x d'une mémoire de travail implicitement définie (MT00).

Si x = 18 (poids le plus faible d'un mot) avant rangement, la mémoire de travail est initialisée à zéro.

Si x < 18, le contenu de la mémoire de travail n'est pas détruit.

- Limites

$m_i \leq 31$ $\quad b_i \leq 18$ $\quad x \leq 18$

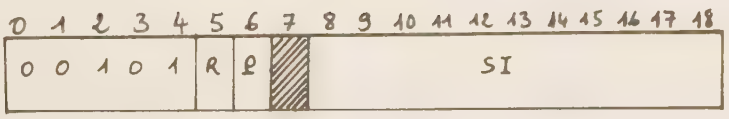
et $m_i \leq +$ NMVEX + NMVIN

11) INSTRUCTION n° 11 : EMISSION D'UNE SIGNALISATION

- Symbole

- Sigle : ESIG

- Mot machine :



R : Répétitivité

P : Désignation du Périphérique de Sortie

SI : numéro de la signalisation

- Opération

Le message repéré par son numéro SI est sorti sur le périphérique désigné par P.

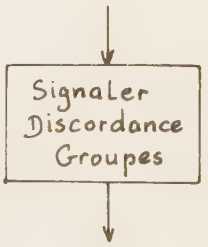
- Limites

$$SI \leq 2047$$

Par ailleurs, si + NSIG est le nombre total de signalisations défini à l'assemblage : $SI \leq + NSIG$.

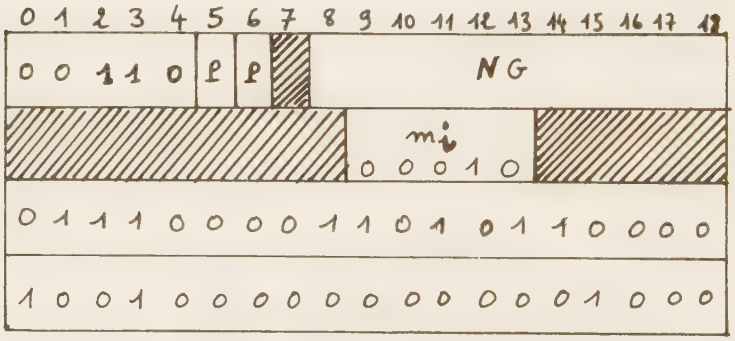
12) INSTRUCTION n° 12 : SIGNALISATION DE DISCORDANCE DE GROUPES

- Symbole :



- Sigle = SIDG

- Mot machine



R : Répétitivité (porte sur le résultat 19 $m_i + b_j$)

P : Désignation du périphérique de sortie

NG : Nombre de sous-groupes (un sous-groupe = 3 mots)

m_i : Repère du mot i des variables concernées dans la table TEA

MQ_i : Masque du mot i indiquant, par ses bits, positionnés à 1, les variables du groupe.

- Opération

Chaque variable repérée par m_i selon le masque MQ_i est comparée à l'état de référence désigné par E_i.

Toutes les discordances sont signalées par le périphérique P.

- Limites

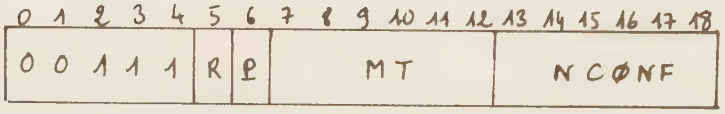
NG ≤ + MAXNG où + MAXNG est le nombre maximum de sous-groupes qui constitue le groupe.

13) INSTRUCTION n° 13 : IMPRESSION DE CONFIGURATIONS

- Symbole

- Sigle : IMCØ

- Mot machine



R : Répétitivité (porte sur MT)

P : Désignation du Périphérique de Sortie

MT : Mémoire de travail contenant un numéro de message

NCØNF : Numéro de la configuration.

- Opération

Signalisation par le périphérique P du numéro de configuration NCØNF et du numéro contenu dans MT.

- Limites

MT ≤ 63 NCØNF ≤ 63

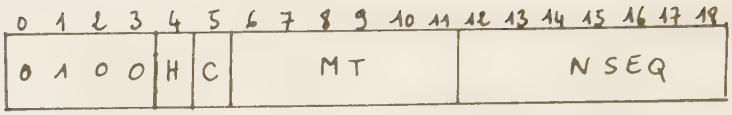
D'autre part MT < NBMT

14) INSTRUCTION n° 14 : EFFECTUER UNE SEQUENCE D'AUTOMATISME

- Symbole

- Sigle : FAIRE

- Mot machine



H : Indication de l'homologue à prendre en compte pour la séquence à effectuer.

. si H = 0, l'ancien homologue de la séquence appelante est conservé,

. Si H = 1, l'homologue MT est pris en compte.

C : Indique si l'homologue est l'opérande MT ou le contenu de MT

NSEQ : numéro de la Séquence à effectuer.

- Opération

Pour une séquence d'automatisme, l'opération FAIRE correspond à l'instruction d'appel d'un sous-programme pour un programme ordinaire.

La séquence AUTOL dont le numéro est NSEQ est déroulée pour l'homologue de la séquence appelante si H = 0 ou pour l'homologue indiqué par MT si H = 1.

- Limites :

$MT \leqslant 63$ $\quad$ $NSEQ \leqslant 127$

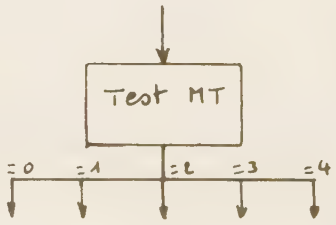
D'autre part : $\quad MT \leqslant NBMT$ et $NSEQ \leqslant MAXSEQ$

. NBMT = Nombre de mémoires de travail

. MAXSEQ = Nombre de séquences AUTOL maximum susceptibles d'être appelées par un "FAIRE".

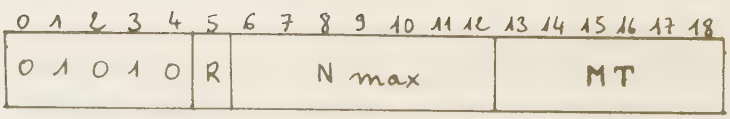
15) INSTRUCTION n° 15 : AIGUILLAGE

- Symbole



- Sigle : AIGU

- Mot machine



R : Répétitivité

MT : Mémoire de travail

- Opération

L'opération suivante exécutée sera N + 1 mots, en avant ou en arrière de l'opération AIGU en cours. C'est le contenu de la mémoire de travail MT.

N doit être inférieur à la valeur NMAX.

- Limites

$MT \leqslant 63$

et $MT \leqslant NBMT$ (le nombre total de mots de travail)

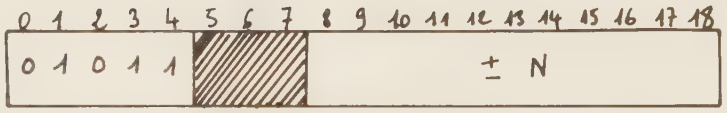
$N < NMAX < 127$

16) INSTRUCTION n° 16 : SAUT

- Symbole

- Sigle : SAUT

- Mot machine



N : Nombre de mots à sauter avant (+ N) ou en arrière (- N).

- Opération

L'opération suivante à exécuter est N mots en avant ou en arrière dans la séquence AUTOL

$-1023 \leqslant N \leqslant +1023$

et $-MAXS \leqslant N \leqslant +MAXS$

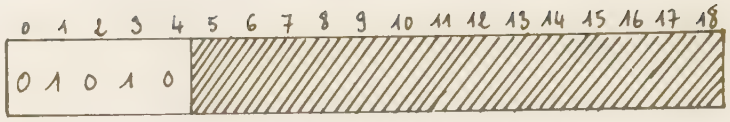
où MAXS est la valeur maximale admissible du saut.

17) INSTRUCTION n° 17 : RIEN A FAIRE

- Symbole

- Sigle : Rien

- Mot machine



- Opération

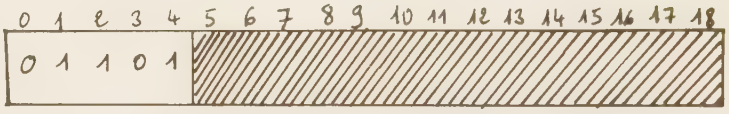
Opération ineffective. On continue la séquence.

18) INSTRUCTION n° 18 : FIN D'UNE SEQUENCE AUTOL

- Symbole

- Sigle : FINI

- Mot machine



- - Opération

Indique la fin d'une séquence AUTOL et le retour, soit à une séquence appelante (cas d'un retour à la suite d'un FAIRE), soit à la boucle d'attente des séquences AUTOL pour l'exécution éventuelle d'une nouvelle séquence.

3.2.3 - Définition des Séquences AUTOL

Les automatismes de la Ligne d'Enrichissement et d'Introduction dans le Spectromètre de Masse se déroulent suivant quatre Séquences AUTOL, auxquelles correspondent trois états de ralliement dictincts :

Séquence	Etat rallié
1. Démarrage (DEM)	Veille (VE)
2. Mise en Marche Normale (MMN)	Marche Normale (MN)
3. Mise en veille (MEV)	Veille (VE)
4. Mise à l'Arrêt (MAA)	Arrêt (AR)

- La séquence démarrage permet de préparer la ligne en vue du traitement chromatographique des échantillons qui vont être prélevés sur le gaz actif en provenance du réacteur.

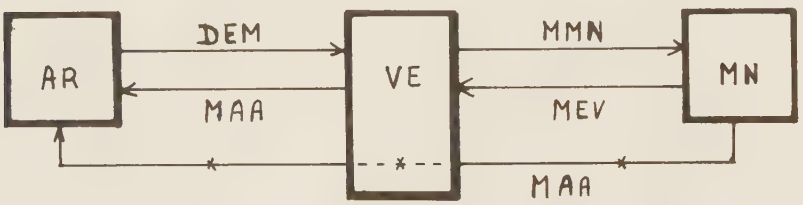
  A l'issue de cette séquence, la ligne d'enrichissement et d'introduction dans le spectromètre est dans l'Etat de VEILLE. C'est uniquement à partir de cet état que l'opérateur peut demander et obtenir le déroulement de la Séquence Marche Normale.

- La séquence de mise en Marche Normale correspond à l'état permanent de MARCHE NORMALE de la ligne. C'est une séquence en boucle fermée, de durée indéterminée.

- La séquence de mise en VEILLE permet le passage de l'état de MARCHE NORMALE à l'état de VEILLE.

- La séquence de mise à l'ARRET permet le passage soit de l'état MARCHE NORMALE ou VEILLE, soit d'un état intermédiaire quelconque, à l'état ARRET.

En résumé, on a les possibilités suivantes :



Les quatre séquences peuvent être demandées par l'intermédiaire de l'un des deux claviers à touches placés, l'un sur la baie "Synoptique et Automatismes" (Commande Locale), l'autre en Salle de Commande du Réacteur.

Seules les séquences de Mise à l'Arrêt (MAA) et de Mise en Veille (MEV) peuvent être demandées automatiquement, en cas d'incidents.

3.2.3.1 - Analyse de la Séquence "Démarrage" (Voir figures n° 3 et 11)

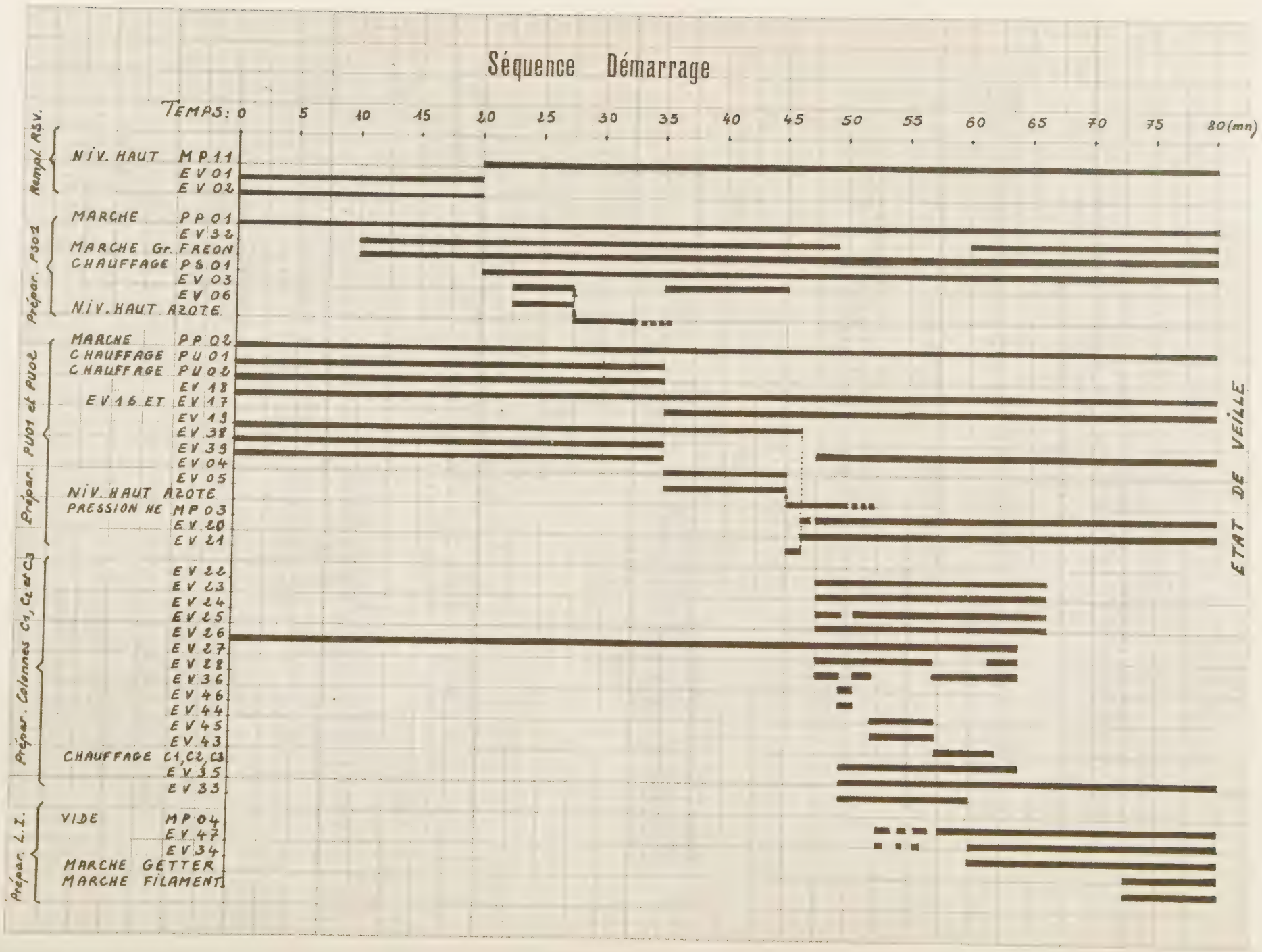
La Séquence Démarrage consiste à "préparer" les différents sous-ensembles qui composent la Ligne d'Enrichissement et d'Introduction. Cette préparation porte sur les éléments suivants :

- Réservoirs à azote liquide (RSV)

- Ensemble de pompage ultra-vide

- Purificateurs d'hélium

- Colonnes chromatographiques


Séquence Démarrage
TEMPS: 0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80(mn)
Rempl. R.S.V.
NIV. HAUT MP 11
EV 01
EV 02
Prépar. P302
MARCHE PP 01
EV 32
MARCHE Gr. FREON
CHAUFFAGE PS 01
EV 03
EV 06
NIV. HAUT AZOTE
PU01 et PU02
MARCHE PP 02
CHAUFFAGE PU 01
CHAUFFAGE PU 02
EV 18
EV 16 ET EV 17
EV 19
EV 38
EV 39
Prépar.
EV 04
EV 05
NIV. HAUT AZOTE
PRESSION HE MP 03
EV 20
EV 21
Prépar. Colonnes C1, C2 et C3
EV 22
EV 23
EV 24
EV 25
EV 26
EV 27
EV 28
EV 36
EV 46
EV 44
EV 45
EV 43
CHAUFFAGE C1, C2, C3
EV 35
EV 33
Prépar. L.I.
VIDE MP 04
EV 47
EV 34
MARCHE GETTER
MARCHE FILAMENT
ETAT DE VEILLE

- Ligne et capacité d'introduction.

Les actions se déroulent dans le temps conformément au chronogramme ci-contre, sur lequel tout trait plein correspond, soit à l'état ouvert de la vanne repérée, soit à l'exécution de l'action signalée.

A la fin de cette séquence, l'installation est à l'état de VEILLE, c'est-à-dire :

- le réservoir RSV est rempli d'azote liquide,
- la pompe primaire PP01 est en service et la vanne EV 32 qui la met en liaison avec la pompe PS01 est ouverte,
- le Groupe Fréon est en service,
- le chauffage du réchaud de PS01 est en service,
- le réservoir de PS01 est rempli d'azote liquide,
- la pompe primaire PP02 est en service,
- EV16 et EV17 sont ouvertes,
- EV38 est fermée, EV39 est ouverte,
- MP03 a basculé,
- EV20 est ouverte et EV21 est fermée,
- les trois colonnes ont été chauffées et purgées à l'hélium,
- EV 35 est ouverte,
- MP04 a basculé
- EV 47 et EV 34 sont ouvertes, la ligne d'introduction est sous vide secondaire,
- la pompe Getter est en service,
- le filament de la capacité d'introduction est sous tension.

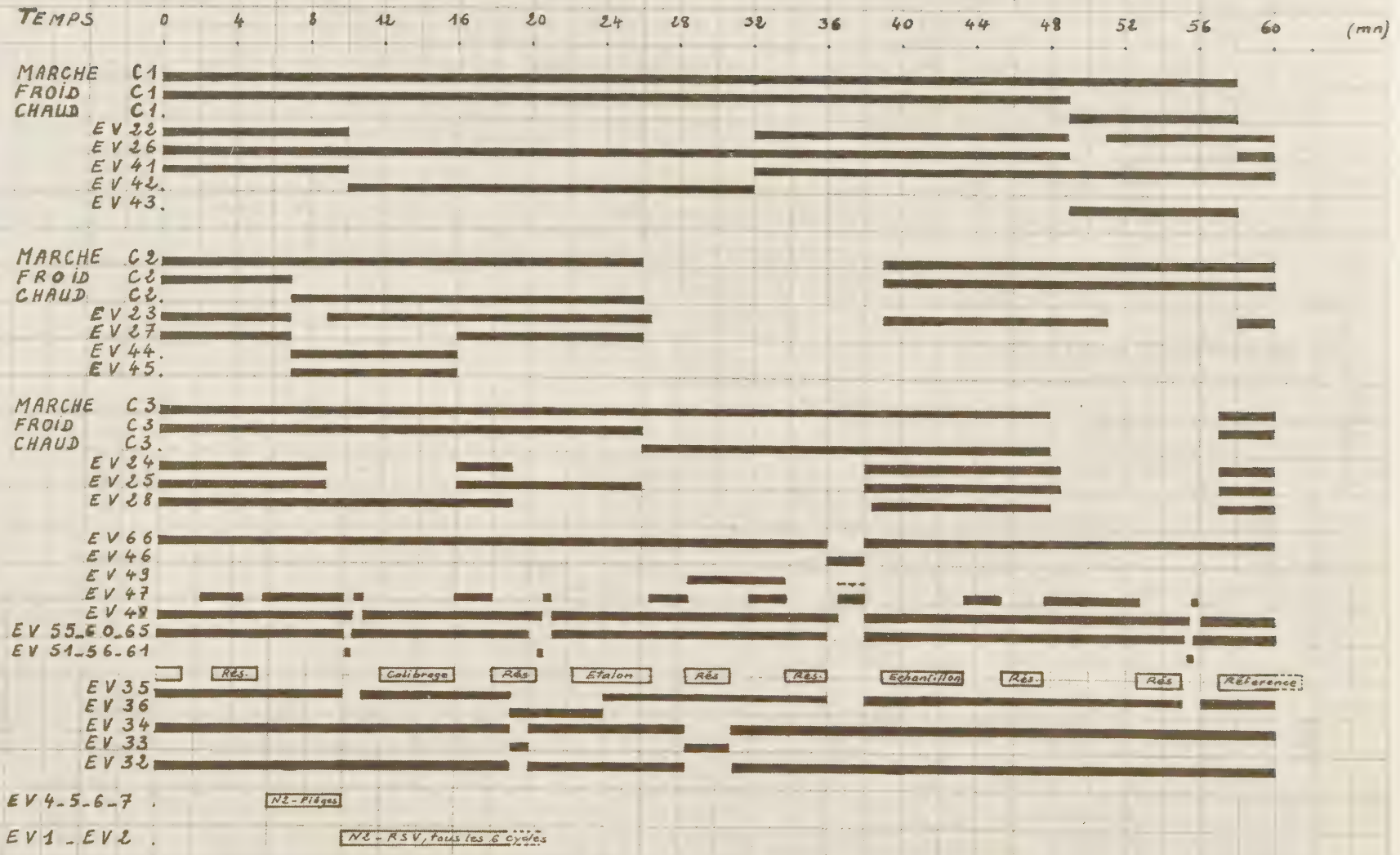
3.2.3.2 - Analyse de la Séquence "Marche Normale" (Voir Figures n° 3 et 12)

- La séquence "Marche Normale" est caractérisée par la mise en oeuvre de tous les éléments essentiels constituant la ligne.

Le chronogramme ci-dessous permet de suivre les différentes opérations :

- Refroidissement de C1 et C2,
- Prise de l'échantillon de gaz à analyser (EV 42 et EV 26 ouvertes),

Séquence Marche Normale



- Balayage à 1'hélium de C1 (ouverture de EV 22),

- Chauffage de C1 et transfert sur C2 (fermeture de EV 26 et ouverture de EV 43),

- Balayage à 1'hélium de C2 (Fermeture de EV 43 et ouverture de EV 23),

- Chauffage de C2 et transfert sur C3 (fermeture de EV 27 et ouverture de EV 44 et EV 45),

- Balayage à 1'hélium de C3 (fermeture de EV 44 et EV 45 et ouverture de EV 24 et EV 25),

- Pompage amont de la colonne C3 (fermeture de EV 24 et ouverture de EV 36),

- Chauffage de C3 (fermeture de EV 25, EV 36, puis de EV 34, EV 32 et EV 47 ; ouverture de EV 46 et EV 33),

- Fermeture de EV 33, suivi de 1'ouverture de EV 32 et EV 34,

- Ouverture de EV 47 (introduction de 1'échantillon dans la capacité d'ultime traitement),

- Fermeture de EV 47, puis ouverture de EV 48 (Introduction de 1'échantillon dans le spectromètre de masse).

Nous avons suivi 1'échantillon entre son prélèvement sur le circuit d'entrée (EV 42) et son introduction, pour analyse, dans le spectromètre (EV 48). Entre ces deux instants, il a progressé par C1, C2, C3 puis la capacité située entre EV 47 et EV 48. Mais dès que 1'échantillon a quitté la première colonne C1, celle-ci est de nouveau préparée pour recevoir un nouvel échantillon, si bien que la période de présentation des échantillons à 1'entrée du spectromètre devient nettement inférieure au temps de passage du gaz dans la ligne d'enrichissement. Ainsi, pour un échantillon donné, le temps qui s'écoule entre 1'ouverture de 1'électro-vanne d'entrée dans la ligne (EV 42) et 1'ouverture de 1'électrovanne d'entrée dans le spectromètre (EV 48) apparaît sur le chronogramme comme étant égal à 50 + 38 = 88 minutes.

Par contre, la période de présentation des échantillons à 1'entrée du spectromètre, c'est-à-dire la période d'ouverture de EV 48 ne sera que de 60 minutes.

On profite également de la durée relativement longue des trois chromatographies successives pour réaliser, en temps masqué, un certain nombre d'opérations importantes que 1'on peut résumer ainsi :

- Calibrage du spectromètre avec mesure avant et après calibrage des résidus,

- Etalonnage du spectromètre, compte tenu encore des signaux obtenus sur les gaz résiduels,

- Analyse d'un gaz de référence en cas de franchissement d'un seuil prédéterminé, lors de l'analyse de l'échantillon. Cette opération également est précédée et suivie d'une mesure sur gaz résiduels.

En résumé, par échantillon, le spectromètre et le calculateur qui lui est associé peuvent être amenés à opérer, au maximum quatre opérations d'analyse. Le calibrage, l'étalonnage et l'analyse d'un gaz de référence sont réalisés à partir d'échantillons provenant de bouteilles raccordées à la capacité d'introduction dans le spectromètre de masse par les électrovannes EV 66 et EV 47. La quatrième analyse est faite sur gaz réacteur.

Il faut enfin signaler trois autres opérations de moindre importance, mais toutefois nécessaires au déroulement prolongé du cycle et devant être exécutées à un moment favorable, sous peine de perturber gravement les mesures. Il s'agit :

- du remplissage en azote liquide des réservoirs de PS 01 et PS 02,

- du remplissage en azote liquide du RSV,

- de l'ouverture de EV 49.

. Le remplissage en azote liquide de PS 01 et PS 02 commence à la fin de la mesure du résidu suivant le gaz de référence et se termine au plus tard deux minutes avant l'opération Calibrage. (durée maximum du remplissage : 4 minutes). Le choix de cet instant, pour rendre les pièges des pompes secondaires bien froids, joue en particulier sur la sensibilité des mesures au cours du calibrage, de l'étalonnage et de l'analyse de l'échantillon. D'autre part, le fait d'opérer ces remplissages toujours au même moment, est très favorable en ce qui concerne les conditions de mesure (Répétitivité).

. Le remplissage du RSV est déclenché tous les six cycles, c'est-à-dire toutes les six heures.

Le remplissage s'arrête automatiquement lorsque le niveau haut est atteint.

. L'ouverture de EV 49 met en liaison une bouteille métallique de 500 cm^3 avec la ligne d'introduction. EV 49 est systématiquement ouverte lors du pompage secondaire de la ligne et, éventuellement, au lieu de EV 47. En effet, si le spectromètre est hors service, l'échantillon de gaz présent dans la ligne, à la suite du chauffage de C3 et de l'ouverture de EV 46, n'est plus introduit dans la capacité d'introduction, mais dans cette bouteille de récupération.

Si cette récupération correspond à un événement particulièrement intéressant au niveau du combustible, il sera ainsi toujours possible de procéder ultérieurement à l'analyse du gaz récupéré.

3.2.3.3 - Analyse de la Séquence "Mise en Veille" (Voir Figure n° 3 et 13)

L'opérateur ne peut demander par clavier l'exécution de cette séquence que si l'installation est en Marche Normale.

D'autre part, un certain nombre d'incidents, détectés sur l'installation en cours de Marche Normale, appellent automatiquement la Séquence de Mise en Veille. Ces incidents sont les suivants :

- Manque d'azote liquide dans le PS 01,
- Manque d'eau dans le PS 01 et Getter (refroidissement),
- Manque de chauffage de PS 01.

La Séquence "Mise en Veille" se déroule conformément au chronogramme ci-contre.

La première action consiste à isoler l'entrée (fermeture de EV 42) et la sortie des colonnes (fermeture de EV 46).

En même temps, on isole le spectromètre (fermeture de EV 48) et on assure un pompage primaire sur une partie de la ligne d'introduction (EV 32 fermée, EV 33 ouverte, EV 35, EV 34 et EV 36 fermées).

Ce pompage dure 2,5 minutes. On ferme alors EV 33, et on ouvre EV 32, 34 et 35 pour assurer un pompage secondaire de la quasi-totalité de la ligne.

Deux minutes et demie plus tard, on ouvre EV 47, ce qui permet d'obtenir également le vide secondaire dans la capacité d'introduction. Cette opération de pompage - primaire, secondaire - dure au total 22,5 minutes. A cet instant, on ferme simultanément EV34, EV 35 et EV 47.

A ce même instant, commence l'opération de chauffage et de balayage à l'hélium des trois colonnes C1, C2 et C3, ainsi que des liaisons entre C1 et C2 et entre C2 et C3 (durée totale : 12 minutes).

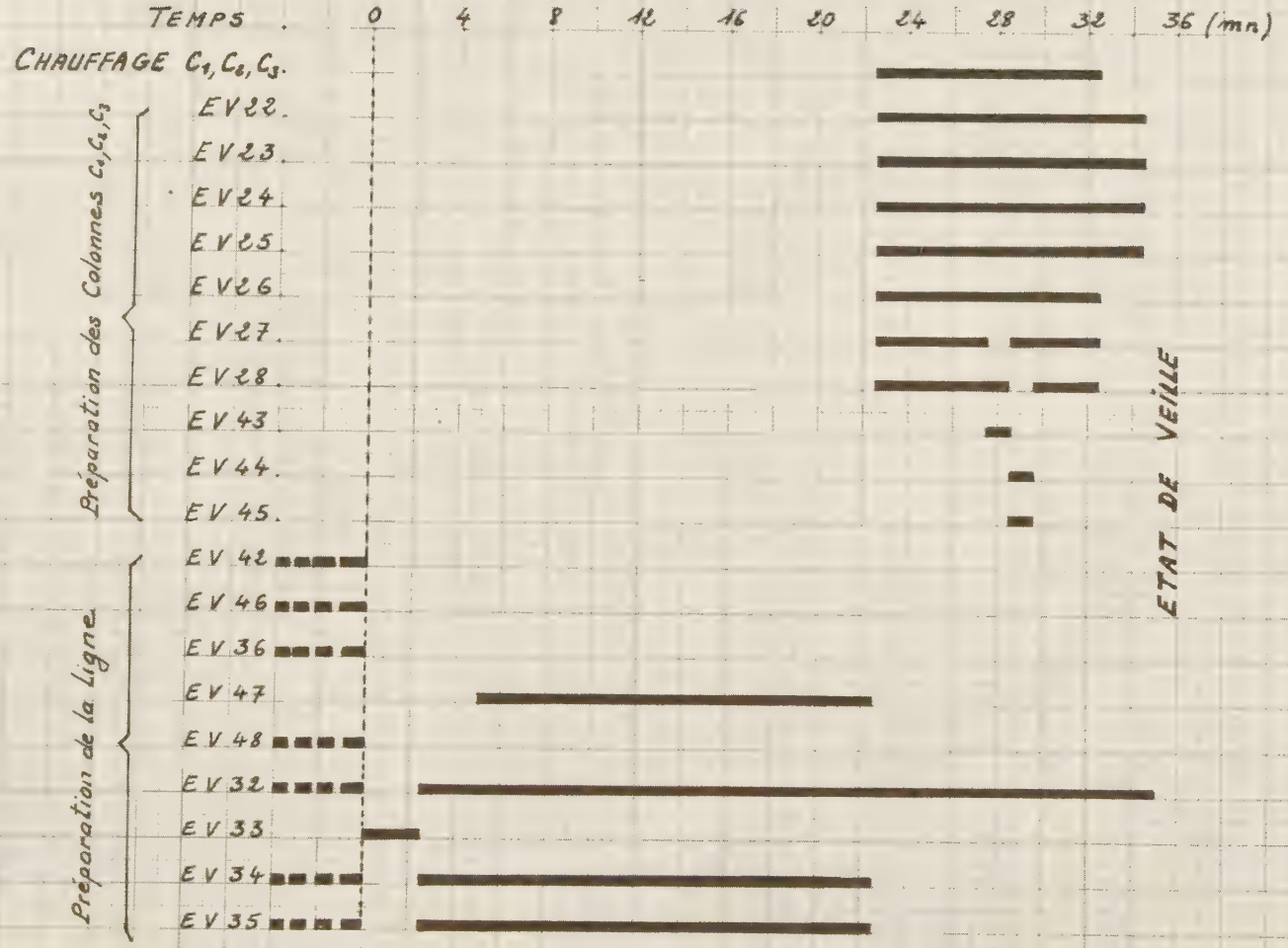
A l'issue de cette opération, la ligne se trouve en état de veille. La séquence a duré 34,5 minutes.

3.2.3.4 - Analyse de la Séquence Arrêt (voir figures n° 3 et 14)

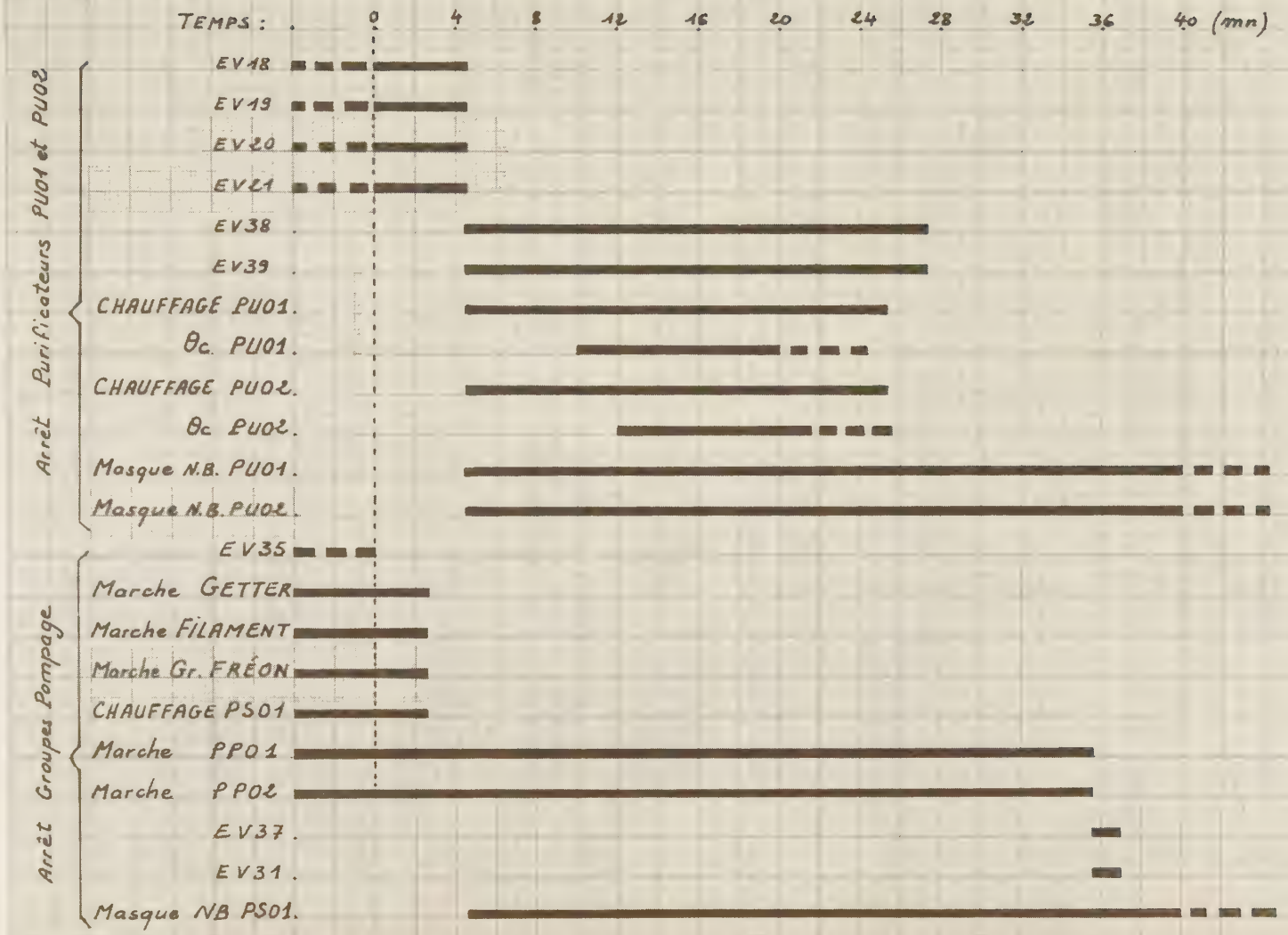
Comme pour la Séquence de Mise en Veille, la Séquence Arrêt peut être demandée soit par l'opérateur, soit automatiquement, sur défauts Ligne. Les incidents qui font appel à la Séquence Arrêt sont les suivants :

- Manque d'hélium,
- Manque d'azote liquide dans PU01 et PU02,
- Manque de Pression d'Air Comprimé,
- Manque de 380 V, ou 220 V ou 48 V.

Séquence Mise En VEILLE



Séquence Arrêt



En cas de demande simultanée de plusieurs séquences, l'ordre de priorité adopté par le calculateur est le suivant :

- Séquence Arrêt,

- Séquence Mise en Veille,

- Séquence Marche Normale.

La séquence Arrêt a pour action immédiate la fermeture de toutes les vannes de la Ligne d'Enrichissement et d'Introduction, excepté la vanne EV 26 qui est ouverte.

Le reste de la séquence se déroule conformément au chronogramme ci-contre. Les actions portent, d'une part sur les deux purificateurs PU01 et PU02, d'autre part sur les Groupes de Pompage et la Capacité d'Introduction (Getter et Filament).

. Les purificateurs PU01 et PU02 sont isolés à t_o + 4,5 mn (fermeture de EV 18, EV 20, EV 19 et EV 21). On ouvre alors EV 38 et EV 39, mettant ainsi les deux purificateurs sous pompage primaire (PP02).

On chauffe simultanément PU01 et PU02 pour les "dégazer" et le point de consigne étant atteint, on coupe le chauffage et on referme EV 38 et EV 39.

Pendant toute l'opération de dégazage et au-delà, le calculateur masque le Niveau Bas Azote Liquide des purificateurs, évitant ainsi une demande intempestive d'azote.

. Le Getter et le filament de la Capacité d'Introduction, le groupe fréon et la chaufferette de la pompe PS01 ne sont plus alimentés au bout de 2,5 minutes.

Les pompes primaires sont maintenues en service jusqu'à t_o + 35,5 minutes. Elles sont alors arrêtées et mises à l'air (ouverture momentanée de EV 31 et EV 37).

Le calculateur assure également le masquage du niveau azote liquide dans PS 01.

3.2.3.5 - Présentation des organigrammes

Les organigrammes sont réalisés sur des feuilles de format 21 x 27. Sur ces feuilles, sont portées les indications suivantes :

- Repérage général :

  . le numéro de la page,
  . la date,
  . le numéro de la sous-séquence,
  . le titre de la sous-séquence.

- Caractéristiques des opérations élémentaires :

. le numéro de l'étiquette,
. le code opération,
. la répétitivité,
. le sens du saut,
. la valeur du saut,
. lechiffre correspondant à l'instruction,
. le repère de la variable,
. le sigle renseigné de l'instruction,
. un texte indiquant les signalisations ou observations.

A partir de ces feuilles, sont élaborées les cartes perforées, et la suite des opérations se déroule comme indiqué au paragraphe 3.2.2.4.

A titre d'exemple, nous présentons, en Annexe 2, l'organigramme AUTOL relatif à la Sous-Séquence "Enrichissement".

3.2.4 - Matériel (Voir figures n° 7 et 15)

En ce qui concerne les automatismes, les échanges se font entre la baie calculateur et la baie de relayage située dans la même salle que la Ligne et le Spectromètre. Cette dernière baie constitue en fait l'interface de commande et d'acquisition des informations entre Ligne et Calculateur.

Le premier organe de sélection de cette baie est une clé qui permet de faire les choix de fonctionnement suivants :

- Manuel (MAN)

- Programme Autol Figé (P.F.)

- Automatique Local (A.L.)

- Automatique Distance (A.D.)

- Fonctionnement en Manuel

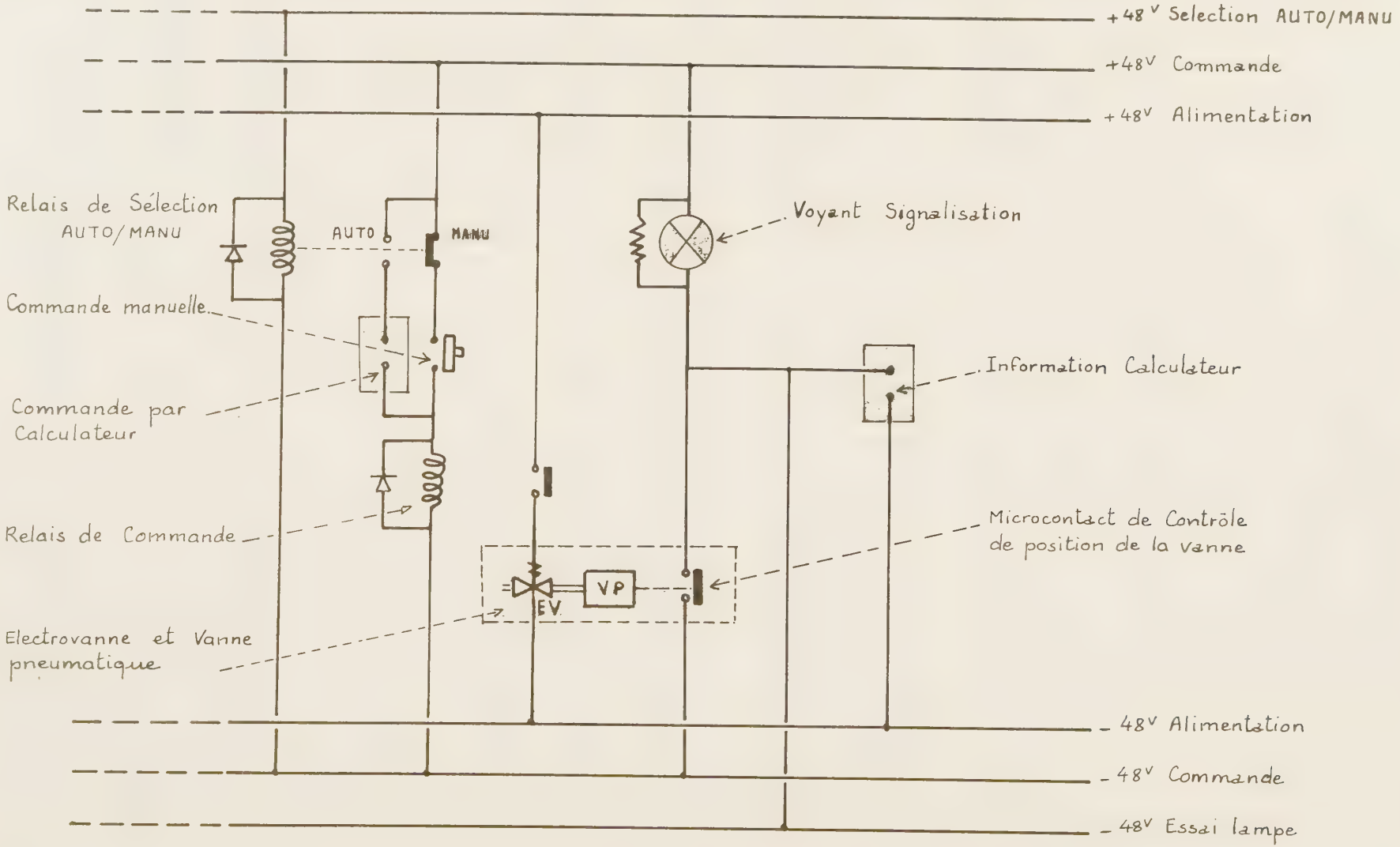
Cette position de la clé met Hors Service toutes les commandes venant du calculateur.

Par contre, les touches lumineuses de signalisation montées dans le synoptique sont alors opérationnelles (du point de vue Commande).

En ce qui concerne la signalisation, on a adopté les conventions suivantes : quand une vanne est ouverte, la touche correspondante est allumée (couleur verte). Inversement, à une touche éteinte, correspond une vanne fermée.

De même, à un filament sous tension ou à un chauffage en cours, correspond une touche verte allumée et inversement.

Fig. 15 Mode de Commande et de Contrôle d'une Vanne Pneumatique



Les défauts (manque de débit d'eau de refroidissement de la pompe secondaire PS01 par exemple, sont signalés par l'allumage d'un voyant rouge. Ces derniers, à la différence des autres, constituent uniquement des voyants de signalisation et n'exercent aucun rôle de commande.

Les signalisations ainsi définies sont indépendantes du mode de fonctionnement Manuel ou Automatique.

La commande manuelle d'ouverture d'une vanne se fait en appuyant sur la touche à accrochage correspondante du synoptique. L'électrovanne de commande de la vanne est alors alimentée et un micro-contact contrôle l'ouverture effective de cette vanne et allume le voyant inséré dans la touche de commande.

Ce mode de commande est valable pour toutes les vannes pneumatiques, sauf pour EV 26, dont l'état normal, en cas de manque de tension, est l'état ouvert. La touche correspondant à cette vanne est donc allumée quand cette touche est relevée.

Quand la commande concerne un autre composant qu'une vanne (mise sous tension du Getter par exemple), c'est le changement d'état du relais de commande qui assure la signalisation dans la touche.

D'autre part, en Commande Manuelle, aucun des deux claviers placés sur la baie ou en Salle de Contrôle, n'est opérationnel : aucune séquence de la ligne ne peut être demandée au calculeteur.

- Fonctionnement en Automatique Local (AL) ou Distance (AD)

A la situation du clavier de commande près, ces deux modes de fonctionnement sont identiques.

En particulier, la signalisation dans ces deux claviers est assurée en parallèle par le calculateur, conformément à la règle résumée par le tableau du paragraphe 3.1.1. Mais avant de conclure qu'un clavier indique un défaut, il sera nécessaire de connaître la position de la clé (AL ou AD).

Seul le clavier correspondant à la position de cette même clé sera opérationnel (du point de vue commande).

Les deux claviers comportent cinq touches :

. 4 à accrochage et à exclusion mutuelle, permettent de sélecter l'une des quatre séquences : Démarrage, Veille, Marche Normale, Arrêt.

. une cinquième touche, fugitive, permet de valider le choix précédent et de lancer la séquence demandée si les conditions sont réunies.

La commande automatique d'une vanne pneumatique et la signalisation de son état sont absolument les mêmes qu'en commande manuelle, excepté l'origine de l'ordre. Quand la clé est sur AL ou AD, tous les

boutons poussoirs du synoptique sont inhibés, le relais de commande ne peut être alimenté que par une polarité provenant du calculateur.

- Programme figé

Le positionnement de la clé sur PF a les conséquences suivantes :

. Le déroulement du programme AUTOL est figé.

. Les claviers sont rendus inopérationnels.

. Les boutons du synoptique sont également sans action.

. Les vannes et autres composants restent dans la position où ils se trouvaient en commande automatique et avant le commutation de la clé.

Ceci a pour intérêt de rendre l'état de la ligne non évolutif et de positionner tous les boutons du synoptique en fonction de leur signalisation respective. Donc, toute touche allumée doit être en position enfoncée et inversement, sauf pour EV 26.

Quand on positionnera ensuite la clé sur MAN,le passage Automatique à Manuel se fera alors sans changement d'état des différents composants.

L'autre intérêt présenté par cette position intermédiaire est de pouvoir arrêter le déroulement du programme à tout instant et de pouvoir ainsi vérifier l'exécution effective des ordres émis par le Calculateur.

4 - ESSAIS DU MATERIEL ET DES PROGRAMMES

Le système complet est composé de trois sous-ensembles ayant fait l'objet de trois commandes séparées .

Il a donc été nécessaire de procéder, dans un premier temps, à des essais partiels et spécifiques à chaque sous-ensemble, en usine.

Puis on a procédé à un premier assemblage en laboratoire, au cours duquel il a été possible de vérifier les performances d'ensemble.

Le système a ensuite été mis en place sur le réacteur, puis de nouveau essayé suivant un programme détaillé.

Enfin, un essai "physique" en vraie grandeur a été réalisé, ce qui a permis de tirer une conclusion définitive sur la méthode utilisée.

4.1 - Essais et mise au point en Usine et en Laboratoire

- Les essais en usine ont été nombreux et variés.

  . Indépendamment des performances purement "physiques" du spectromètre de masse, contrôlées par le Laboratoire de Spectrométrie de Masse de Saclay, les différentes fonctions d'automatisme câblées ont été vérifiées une à une. En particulier, on a essayé en usine, par simulation, les conséquences de différents incidents survenant sur le Groupe à diffusion de mercure. Le système de remplissage automatique de PS01 en azote liquide a également donné lieu à de multiples essais.

  . La ligne d'introduction a surtout donné lieu, en usine, à des contrôles de conformité et de bonne réalisation (radiographie des soudures), ainsi qu'à des essais d'étanchéité.

    A partir d'un bornier de raccordement, on a également pu commander séparément les électrovannes qui commandaient, à leur tour, les vannes pneumatiques à ultra-vide correspondantes.

  . La baie de relayage et de distribution électrique de la ligne d'introduction a enfin été essayée à Cadarache, à la Section d'Electronique Industrielle, à qui ont été confiées la réalisation du relayage de la ligne et la mise au point du Traitement des Informations.

- A la suite de ces essais individuels, les trois parties ont été assemblées à Saclay. Les dernières mises au point et les essais d'ensemble ont duré six mois.

En résumé, on a ainsi pu vérifier les points suivants :

- Confirmation du bon fonctionnement des automatismes du spectromètre de masse. C'est pendant cette période qu'a été définitivement mis au point le remplissage automatique de PS01.

- Mise au point et vérification du déroulement des séquences AUTOL.

- Mise au point, de façon autonome, des Programmes de Calcul.

- Enfin, le Laboratoire de Spectrométrie de Masse de Saclay a procédé à de très nombreux essais d'analyse qui ont permis de confirmer les résultats attendus

4.2 - Essais sur le réacteur

4.2.1. Programme d'essais

Après sa mise en place sur le réacteur, le programme d'essais suivant a été appliqué à l'installation :

a) Réglage des Paramètres du Spectromètre et de la Ligne

- Paramètres du Spectromètre

. Fonctionnement en courant :

- Courant d'émission du Filament,

- Energie des électrons,

- Energie des ions,

- Tension d'extraction,

- Tensions (V_1 , V_2 , V_3) de focalisation,

- Positionnement des aimants

- Résistance de contre-réaction de l'amplificateur de mesure.

- Valeur de la Très Haute Tension,

- Tension de modulation des pics,

- Résolution,

- Seuils déclencheurs Vide Primaire,

On a procédé à l'enregistrement du signal résiduel, puis à celui des Krypton et des Xénon après introduction d'une dose de gaz étalon dans le spectromètre.

. Fonctionnement en impulsions :

- Détermination par le convertisseur Numérique-Analogique SERCEL, en commande manuelle (0 - 10 V) du sommet des six pics suivants :

Ar^{36}, Ar^{40}, Kr^{84}, Kr^{86}, Xe^{129}, Xe^{136}

- Observation à l'oscilloscope (fermeture sur 50Ω) des impulsions délivrées par le multiplicateur d'électrons, en comptage sur le Xénon 129.

  Détermination de la Très Haute Tension et du Seuil de Discrimination.

- Paramètres de la Ligne

  - Débit du gaz à analyser dans la colonne C1,
  - Débit d'hélium dans les colonnes C1, C2 et C3,
  - Température d'étuvage des purificateurs PU1 et PU2,
  - Températures chaude et froide de régulation de la colonne C1,
  - Températures chaude et froide de régulation de la colonne C2,
  - Températures chaude et froide de régulation de la colonne C3,
  - Courant Filament,
  - Courant permanent du Getter,
  - Seuil de déclenchement du débitmètre MQ04,
  - Seuil de déclenchement de MP01, MP02, MP03, MP05,
  - Réglage d'azote liauide (RSV)

b) Déroulement des Séquences d'Automatisme

- Conditions initiales :

  . Clé sur AUTO-LOCAL,

  . Vanne Distribution Azote Liquide ouverte,

  . Spectromètre en Service MESURE,

. Sortie Multiplicateur branché sur Amplificateur CAMAC,

. Commutateur Tensions SERCEL en Service (Voyant allumé),

. Commutateur SERCEL sur PROGRAMME,

. THT sur valeur COMPTAGE,

. Pas de défaut sur C1 (Voyants rouges éteints),

. Calculateur EN SERVICE

. Débit gaz à anlyser normal ($d \simeq 15$ cm^3/s)

- Séquence DEMARRAGE :

. Etat initial de l'installation : ARRET

. Demande exécution Séquence DEMARRAGE.
Touche DEM. ENFONCEE + VALIDATION

. Etat final de l'installation : VEILLE

- Contrôle de la signalisation :

Etat final : Discordance normale

DEM-VEILLE : les deux touches sont allumées,

Enfoncer alors la touche VEILLE : tout le clavier doit s'éteindre.

- Séquence MARCHE NORMALE :

. Etat initial de l'installation : VEILLE

. Demande exécution Séquence MARCHE NORMALE
Touche M.N. ENFONCEE + VALIDATION.

. Etat final de l'Installation : la Séquence est cyclique et tourne en parmanence.

- Contrôle de l'exécution correcte du cycle :

- Automatismes,
- Calculs,
- Publications

. Vérification de la Signalisation (clavier éteint)

- Séquence ARRET

. Etat initial de l'installation : MARCHE NORMALE

. Demande exécution Séquence ARRET
Touche H.S. ENFONCEE + VALIDATION

. Etat final de l'installation : ARRET

. Vérification de la Signalisation (clavier éteint).

c) Comportement de l'installation en cas d'incidents

Les incidents pris en compte par le calculateur peuvent avoir pour origine les circuits de la Ligne :

- Hélium,
- Argon actif,
- Azote liquide,
- Eau de refroidissement,
- Chauffage Pompe Secondaire,
- Air comprimé,
- Tensions électriques : 380 V, 220 V, 48 V.

- Circuits Hélium

MP01 et MP02

Sur perte de pression sur la bouteille d'hélium en service, passage automatique sur l'autre bouteille. Message : MP01 ou MP02 en service.

A l'apparition de MP01 ou MP02, on inhibe MP03 pendant 60 secondes.

Si la deuxième bouteille n'est pas à une pression suffisante, Arrêt automatique de l'installation. Message : Arrêt, défaut Hélium.

MP03

Si MP03 disparaît pendant plus d'une minute, Arrêt automatique de l'installation. Message : Arrêt, Défaut Purification Hélium.

- Circuit Argon actif :

MQ04 - Contrôle du débit permanent gaz actif.

Si MQ04 bascule, édition d'un message : Défaut débit argon actif.

- Circuit Azote liquide :

PS01 - Niveau bas atteint pendant plus d'une minute : demande automatique de Mise en VEILLE. Message : Niveau Bas azote dans PS01.

RSV - Niveau Bas atteint pendant plus d'une minute : Inhibition demande remplissage + message : Niveau Bas Azote dans RSV.

PU1 et PU2

. Niveau Bas dans PU1 : Basculement automatique sur PU2 si MP02 est bon (Inhibition de MP 03 pendant 30") + message : Niveau Bas Azote dans PU1.

. Niveau bas dans PU2 : idem pour passage sur PU1.

. Niveau Bas dans PU1 et PU2 pendant plus de deux minutes : demande automatique de la Séquence ARRET + message : Niveau Bas Azote dans PU1 et PU2.

- Circuit eau

MQ05 - Défaut de débit d'eau dans PS01 et Getter pendant plus d'une minute : Coupure du chauffage de PS01 et Getter.
Demande automatique de la séquence de mise en VEILLE + message : Défaut débit d'eau dans PS01 et Getter.

- Chauffage PS01

Défaut bilame Réchauffeur PS01 : Demande automatique de la Séquence de Mise en VEILLE + message : Défaut chauffage PS01.

- Défaut Air Comprimé

MP05 déclenché pendant plus d'une minute.
Confirmation de la fermeture des vannes pneumatiques par désexcitation des électrovannes de commande.
Demande automatique de la Séquence ARRET + message : Défaut Air Comprimé sur Ligne.

- Défauts électriques

Manque 380 V, ou 220 V, ou 48 V pendant plus d'une minute. Confirmation de l'Arrêt + message : Défaut 380 V, ou 220 V, ou 48 V sur Ligne.

- Défauts spectromètre de Masse

Le Spectromètre possède sa propre logique câblée qui, en cas de défaut, le met automatiquement en Configuration de Sécurité.

Le calculateur surveille uniquement l'état de 31 variables afin de signaler sur télétype leur changement d'état.

La liste de ces variables est la suivante :

- Mauvais fonctionnement du Groupe à Diffusion,
- Niveau Bas azote dans PS02,
- Jauge JBA2 déclenchée,
- Contacteur du Groupe Fréon déclenché,
- Contacteur JBA2 déclenché,
- Contacteur chauffage PS02 déclenché,
- Réchaud PS02 froid,
- Réservoir Vide - M3 - P $> 5.10^{-1}$ torr,
- Débit eau refroidissement de PS02 $<$ 2 l/mn,
- Défaut 380 V,
- Défaut 220 V,
- Défaut 48 V,
- Défaut Air Comprimé : P $<$ 6 bar,
- Mémoire Marche Générale Hors Service,
- Mauvais fonctionnement pompe ionique,
- Jauge JBA1 déclenchée,
- Contacteur « Mise en Service Pompe Ionique » déclenchée,
- Etuvage en cours : Spectromètre indispensable,
- Contacteur « étuvage en cours » enclenché,
- Contacteur « Mise en Service Spectromètre » déclenché,

- THT Spectromètre Hors Service,
- Clé autorisation Mesure en Veille en Service,
- Clé Local - Distance sur Local,
- Clé Vide préliminaire en Service,
- Niveau Haut Azote dans PS02,
- EV1 fermée - Voie Mesure Hors Service,
- EV2 ouverte - Voie Veille en Service,
- Contacteur Jauges Primaires Hors Service,
- Mémoire d'Etat Mesure Hors Service,
- Mémoire d'Etat Veille Hors Service,
- Interdiction d'introduire du gaz dans le spectromètre de masse

Le critère BON FONCTIONNEMENT du Spectromètre de Masse est obtenu par la présence simultanée des trois informations logiques suivantes :

- Bon fonctionnement du Groupe à diffusion (B.F.G.D.),
- Très Haute Tension en Service,
- Autorisation d'introduire du Gaz dans le Spectromètre.

4.2.2 - Résultat des Essais

4.2.2.1 - Valeurs de réglage des paramètres

- Spectromètre de Masse et interfaces

- Courant d'émission du Filament ..... 600 µA
- Energie des Electrons ..... 39,5 V
- Energie des ions ..... 5,5 V
- Tension d'extraction ..... 6 V
- Tension de focalisation ..... optimisée
- Positionnement des aimants ..... optimisé
- Résolution ..... optimisée
- Seuils de contrôle du Vide Primaire

M 1 ..... 10^{-2} Torr
M 2 ..... 10^{-2} Torr
M 3 ..... 5.10^{-1} Torr

- Vide mesuré par JBA2 avant introduction du gaz ..... 10^{-9} Torr
- Fonctionnement en courant :
  - . Résistance de mesure ..... $10^{9}\ \Omega$
  - . Très Haute Tension ..... 2 000 V
- Fonctionnement en impulsion
  - . Très Haute Tension ..... 3 500 V
  - . Gain de l'amplificateur 300
  - . Seuil de discrimination ..... 200 mV
  - . Tension de modulation de la tension continue SERCEL ..... 5 mV
  - . Caractéristique des Impulsions
    - . Amplitude ..... 2 mV
    - . Largeur ..... 60 ns

- Ligne d'Introduction
  - Débit gaz actif ..... 15 cm^3/s
  - Débit Hélium dans C_1 ..... 10 cm^3/s
    dans C_2 ..... 7 cm^3/s
    dans C_3 ..... 5 cm^3/s

- Température chaude de C_1 ..... + 270° C
  de C_2 ..... + 280° C
  de C_3 ..... + 280° C
  de PU1 et PU2 (dégazage) ..... + 150° C

- Température froide de C_1 ..... - 100° C
  de C_2 ..... - 90° C
  de C_3 ..... - 110° C

- Courant Filament de la capacité d'introduction ... 2 A

- Courant de la pompe Getter ..... 0,5 A

- Seuils de déclenchement de MP04 ..... 10^{-2} Torr
  de MQ04 ..... 7 cm^3/s
  de MP01 ..... 0,5 bar
  de MP02 ..... 0,5 bar
  de MP03 ..... 1 bar
  de MP05 ..... 4 bar

- Pression de régulation de RSV ..... 0,8 bar

4.2.2.2 - Résultat des essais d'automatisme

Ces essais ont duré plusieurs mois et ont nécessité plusieurs modifications tant sur le matériel que sur les programmes. La partie purement automatisme (commande de la Ligne) a d'ailleurs été plus facile à mettre au point que la partie commande du spectromètre et acquisition des mesures. Mais, comme le montre le chronogramme de la Marche Normale (Fig. n° 12), toutes les opérations s'imbriquent et il suffit, par exemple, que l'opération "Calibrage" ne se fasse pas dans les conditions prévues, pour qu'il subsiste ensuite un doute sur la validité des mesures réalisées sur l'échantillon.

Le programme décrit au paragraphe 4.2.1. a été appliqué intégralement et nous avons pu constater, d'une part le bon déroulement des quatre séquences (en commande locale ou à distance), d'autre part la signalisation correcte dans les claviers et l'émission des Messages sur télétype.

Enfin, nous avons simulé les incidents prévus tant sur la Ligne que sur le Spectromètre, et constaté la réaction correcte des automatismes concernés, ainsi que l'émission des messages d'information.

La figure n° 16 nous montre un spectrogramme de masse obtenu au cours d'un fonctionnement autonome du spectromètre. Celui-ci analyse alors l'échantillon sur un spectre continu s'étendant des masses 30 à 140 (les deux bornes extrêmes sont réglables). Le résultat ainsi obtenu offre un intérêt certain dans la mesure où un spécialiste est disponible pour analyser le spectrogramme. Toutefois, nous constatons que ceci représente un travail considérable où les risques d'erreurs sont toujours possibles. D'autre part, nous rappelons que la ligne est à même de présenter un échantillon de gaz réacteur toutes les heures. On est donc très rapidement submergé par les enregistrements et dans l'impossibilité de tirer de cette masse de documents toutes les informations souhaitées.

La figure n° 17 nous montre un tableau de résultats présentés par le calculateur sur la télétype. En dehors des messages d'information concernant les automatismes ou les défauts sur le matériel, il est ainsi possible d'obtenir trois catégories de tableau :

La première catégorie concerne le "gaz étalon", la seconde "l'échantillon" et la troisième le "gaz de référence".

Le tableau relatif au "gaz étalon" est publié toutes les heures. Il permet de vérifier les caractéristiques suivantes :

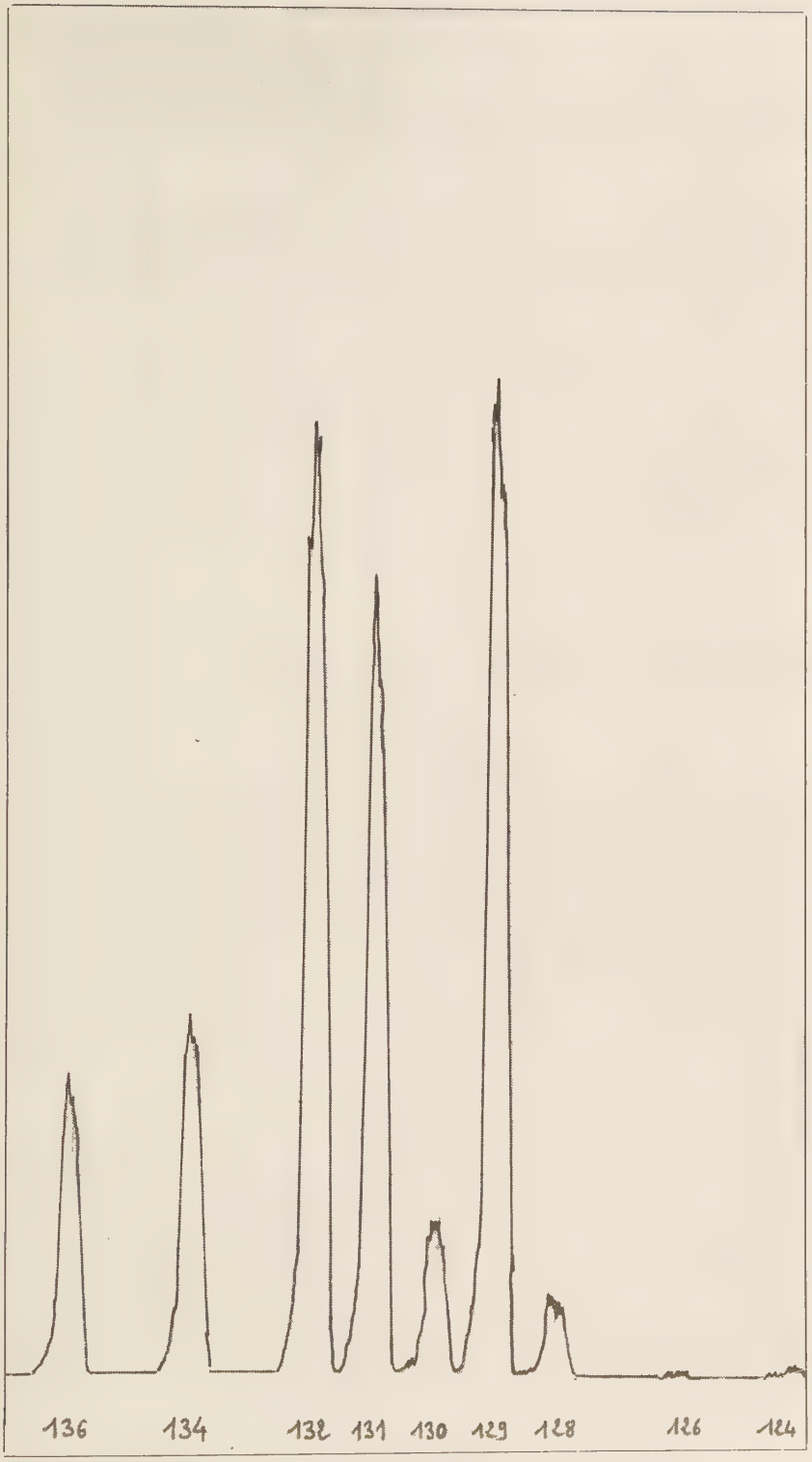
- les tensions obtenues lors du calibrage, c'est-à-dire le bon recalage du spectromètre au sommet des pics recherchés : ces tensions apparaissent dans la colonne située à l'extrême droite du tableau.

- les comptages moyens obtenus sur les gaz résiduels. Ceci permet de vérifier la qualité du groupe de pompage ainsi que la bonne immunité de la chaîne de comptage aux influences extérieures.

. les taux de comptage obtenus sur chaque isotope.

Fig. n° 16

Echelle arbitraire



Xénons

Kryptons

Fig. n° 17

ANALYSE GAZ ETALON

19.05.33

		RESIDUS		INTENSITE	RAPPORTS	TENSION
AR 36.	+	0236	+	1825	0.00282	24039
AR 40.	+	0619	+	646293	1.00000	26655
KR 78.	+	0246	+	4125	0.03295	52363
KR 80.	+	0031	+	25662	0.20499	53740
KR 82.	+	0077	+	125189	1.00000	55112
KR 83.	+	0072	+	123445	0.98606	55798
KR 84.	+	0224	+	599903	4.79196	56434
KR 85.	+	0024	+	0067	0.00053	57170
KR 86.	+	0072	+	177497	1.41783	57856
XE 124	+	0267	+	0669	0.00382	83696
XE 126	+	0247	+	0597	0.00341	85056
XE 128	+	4981	+	12902	0.07374	86416
XE 129	+	67734	+	174956	1.00000	87096
XE 130	+	10295	+	26930	0.15392	87776
XE 131	+	52973	+	139123	0.79518	88456
XE 132	+	66611	+	174410	0.99687	89136
XE 133	+	0090	+	0000	0.00000	89816
XE 134	+	25334	+	66946	0.38264	90496
XE 135	+	0012	+	0003	0.00001	91176
XE 136	+	20817	+	49855	0.28495	91856

- enfin, les rapports isotopiques (rapportés à l'argon 40, le krypton 82 et le xénon 129).

. Le tableau relatif à "l'échantillon" est tout-à-fait comparable, dans sa forme, au précédent. De plus, les tensions de commande du spectromètre seront les mêmes, le calculateur ayant en mémoire les tensions établies lors du calibrage.

  Les comptages et les rapports isotopiques permettent de vérifier, d'une part l'importance de la fuite, d'autre part et dans un premier temps, le numéro du traceur.

. Le tableau relatif au "gaz de référence" n'apparaît qu'en cas de fuite importante. C'est en constatant que le taux de comptage sur le pic du Xe 126 a franchi un seuil prédéterminé ($\gg$ 50 c/s) que le calculeteur fait appel à la sous-séquence = Analyse Gaz de Référence.

  Le gaz choisi pour cette analyse est celui dont la composition isotopique est la plus proche des résultats obtenus sur l'échantillon.

  Le tableau se présente sous la même forme que les deux précédents et les résultats de mesure permettent de confirmer le numéro du traceur, c'est-à-dire, finalement, de localiser l'élément défaillant.

5 - CONCLUSION

Tout système de mesure présente des avantages et des inconvénients.

L'application de la Méthode des traceurs à la localisation des Ruptures de Gaine d'un Combustible Nucléaire s'adapte moins bien aux réacteurs de grande puissance. En effet :

- Le rapport de la quantité de gaz traceur dans chaque aiguille au volume du gaz de couverture diminue quand la taille du réacteur augmente, d'où la nécessité d'utiliser une instrumentation de plus en plus sensible.

- Le nombre grandissant d'assemblages introduit une probabilité globale de ruptures plus grande, d'où la possibilité d'avoir plusieurs ruptures simultanées et, par conséquent, complications dans l'interprétation des mesures.

Cependant, ces deux inconvénients sont surmontables par l'amélioration des performances du Spectromètre et la mise au point de programmes de traitement plus sophistiqués.

En revanche, la Méthode est particulièrement avantageuse pour les raisons suivantes :

. elle ne met pas en jeu de système mécanique,

. elle nécessite une très faible circulation de gaz actif prélevé, puis rejeté dans les circuits du réacteur.

. l'instrumentation utilisée est totalement autonome et peut être contrôlée avant et après chaque mesure.

D'ores et déjà la méthode est parfaitement applicable à un réacteur de la taille de PHENIX et a fortiori à un réacteur expérimental du type RAPSODIE. Un essai "physique", consistant à faire relâcher par un assemblage expérimental, une quantité de gaz traceur connu, a permis de vérifier sur PHENIX l'excellente sensibilité et la bonne sélectivité du système (Réf. 5.).

Or, RAPSODIE et PHENIX constituent par excellence le banc d'essai du combustible nucléaire qui doit équiper les futurs réacteurs de cette nouvelle filière.

Un Système d'analyse par gaz traceurs contribue par conséquent à une meilleure connaissance du comportement de ce type de combustible et son automatisation, sur PHENIX, a permis d'en faire un outil suffisamment autonome pour que les physiciens tirent le meilleur parti des informations particulièrement élaborées qu'il met à leur disposition.

REFERENCES

1. A. CHAUVIN.

   Optimisation du processus de localisation des ruptures de gaine et du déchargement correspondant dans les réacteurs nucléaires (Thèse de Docteur-Ingénieur présentée en 1973 à l'Université de Provence, sous le numéro d'ordre 9057).

2. R. HAGEMANN, P. LOHEZ, S. TISTCHENKO.

   Fonctionnement de la Ligne d'Enrichissement (Note CEA DRA/SAECNI/71-488/RH/MH).

3. I.E. DAYTON, F.C. SHOEMAKER, R.F. MOZLEY.
   Rev. Sci. Inst. 25, p. 485 (1954).

4. N.W. MC LACHLAN

   Theory and Application of "MATHIEU FUNCTIONS" (Clarendon Press - Oxford pp. 40 and 98).

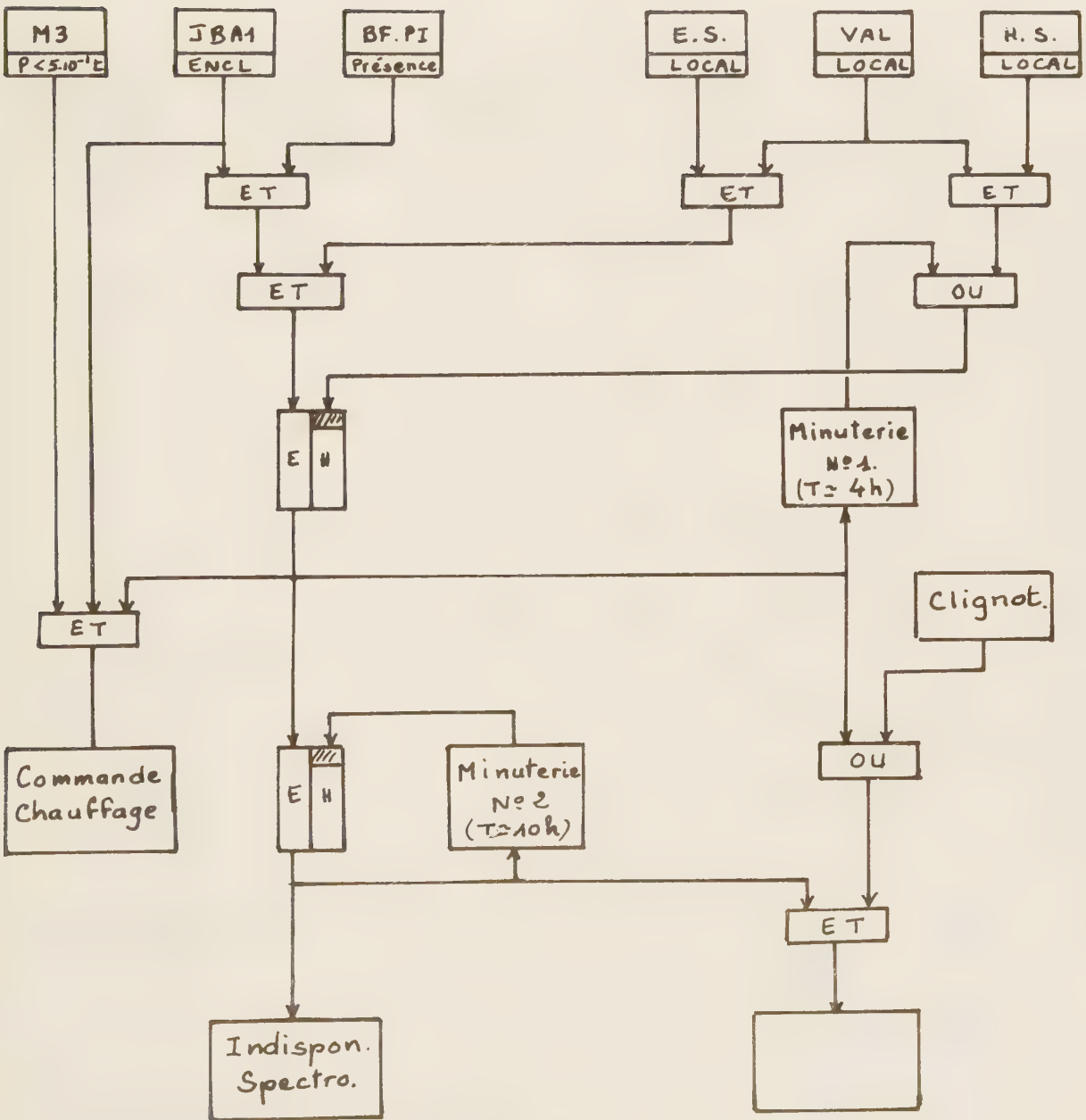
5. C. CLERC

   Compte rendu d'essai CALAO 3 (Note physique n° 70, interne CEA).

A N N E X E 1

SCHEMAS DE QUELQUES CIRCUITS LOGIQUES DE COMMANDE DU SPECTROMETRE

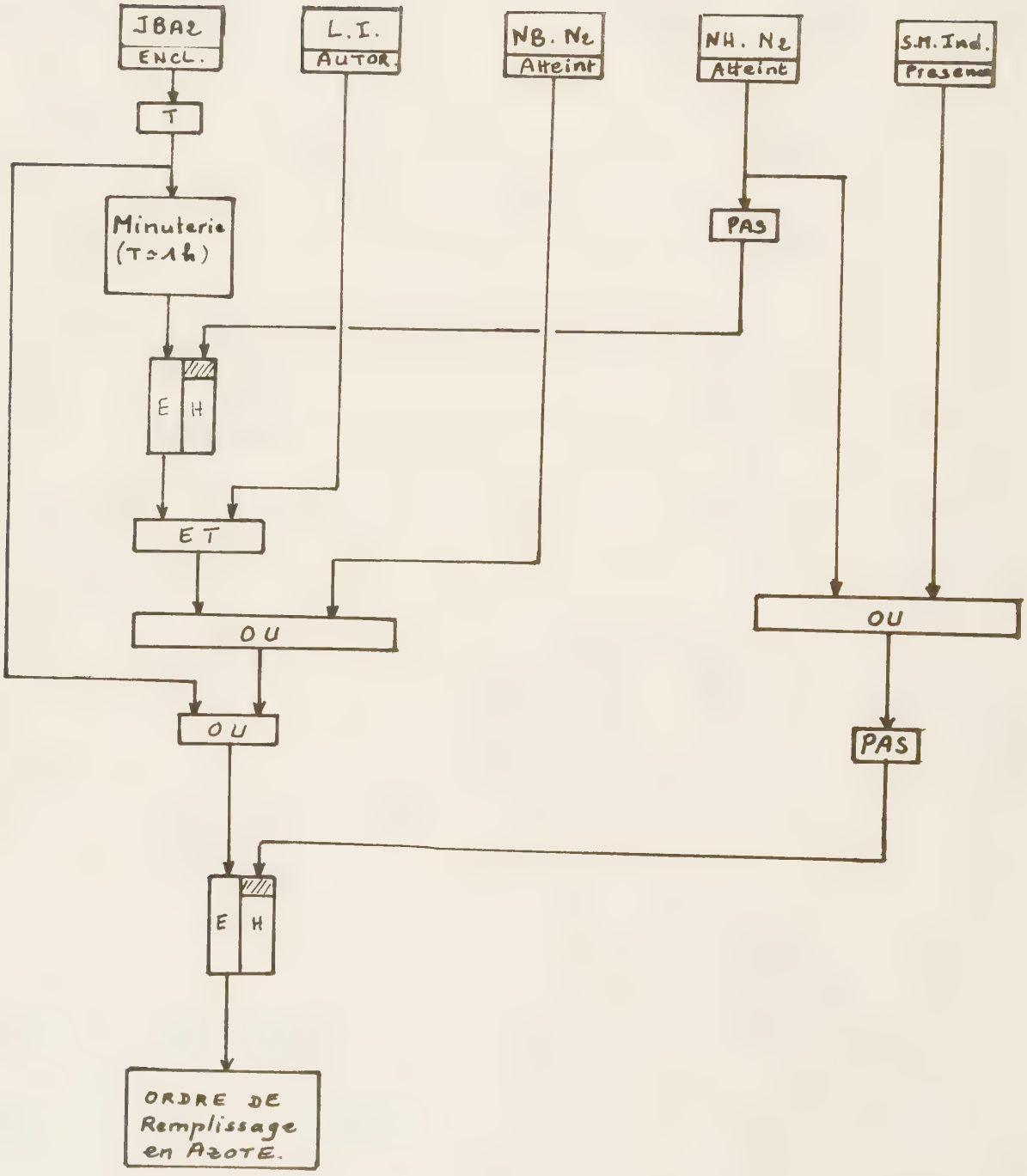
ETUVAGE AUTOMATIQUE DU SPECTROMETRE
ET DE LA POMPE IONIQUE



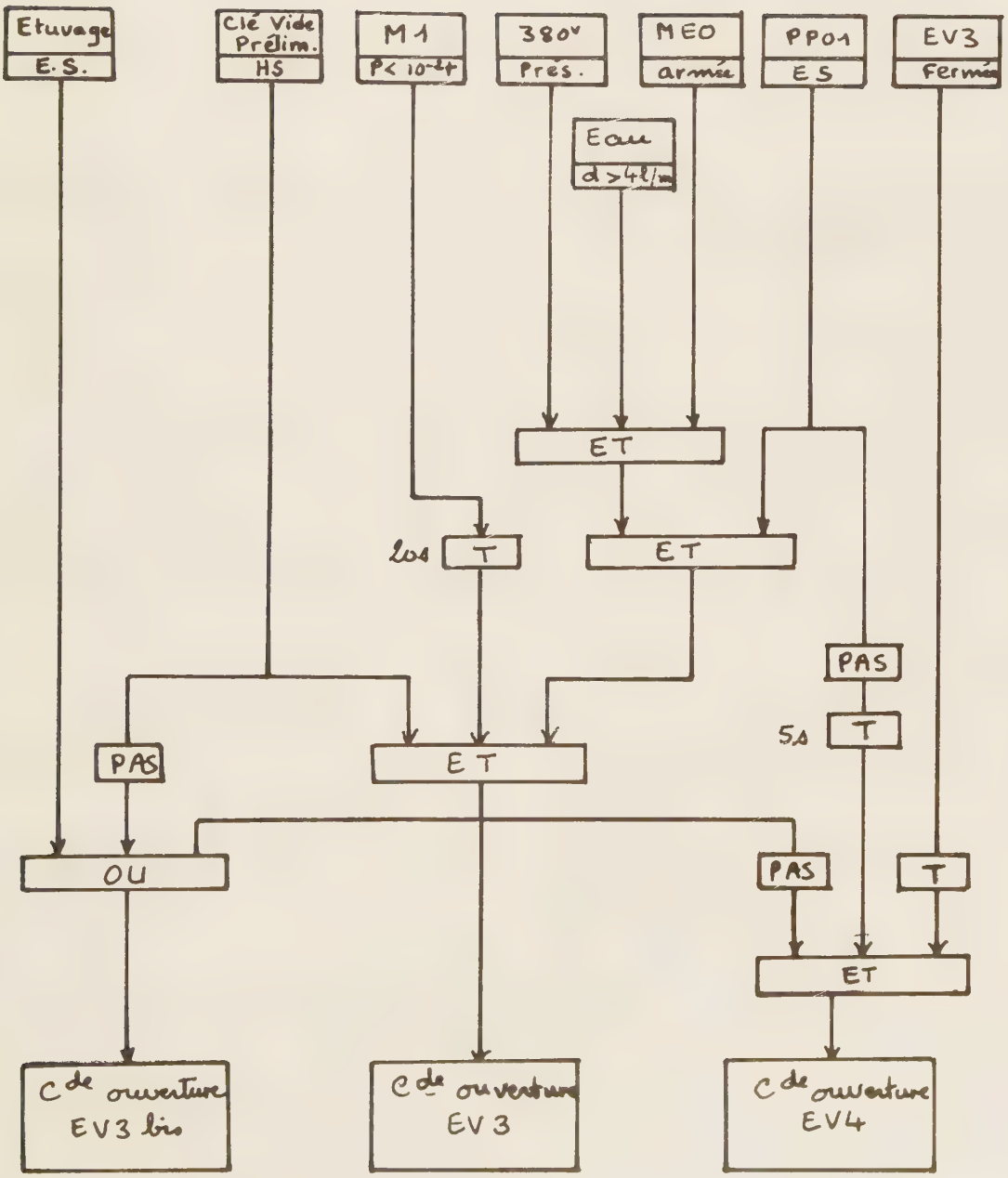
Etuvage en Cours : Feu Fixe

Refroidist Spectro : Feu Clign.

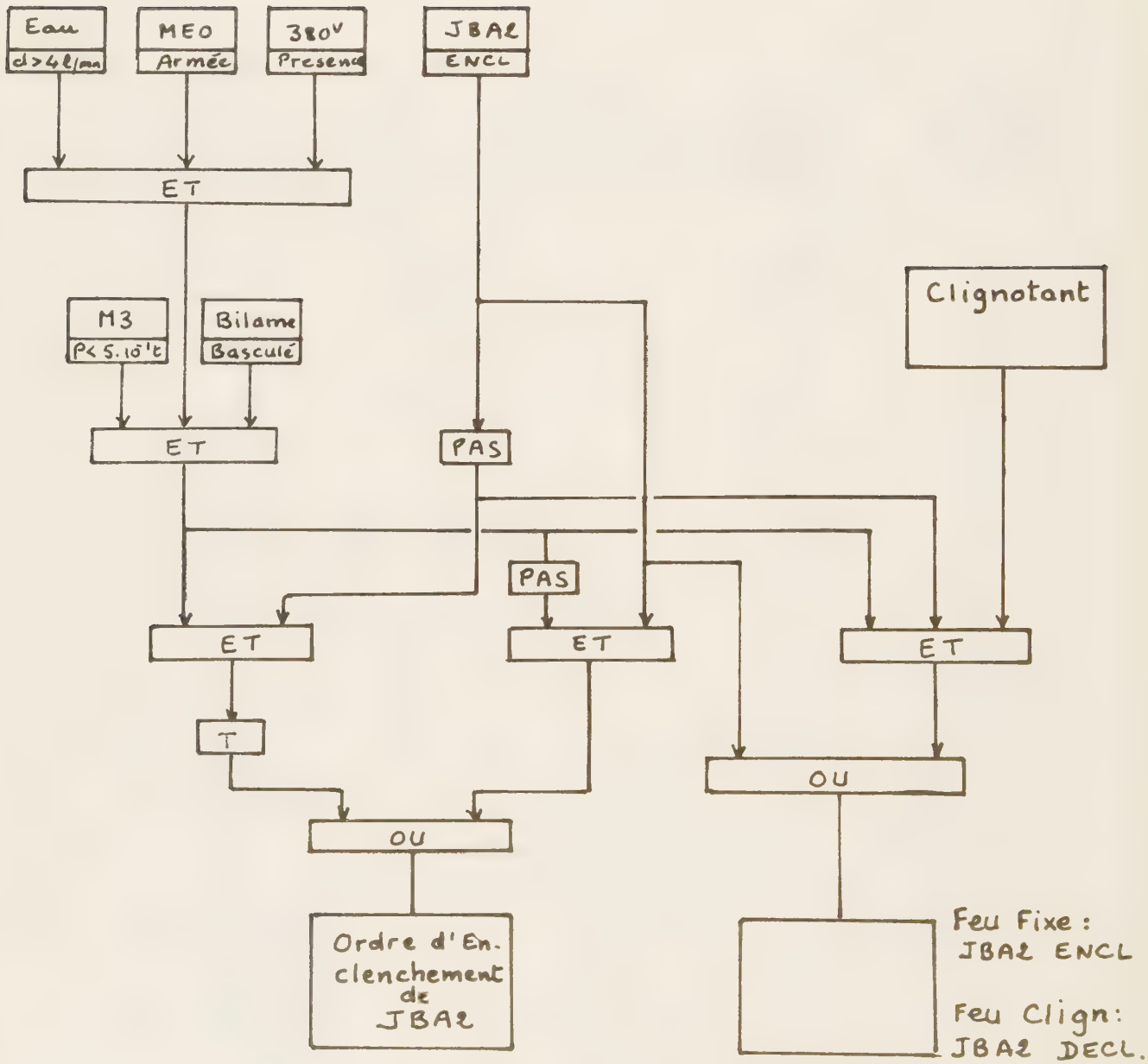
REMPLISSAGE AUTOMATIQUE DU PIEGE A AZOTE LIQUIDE DE PSO2



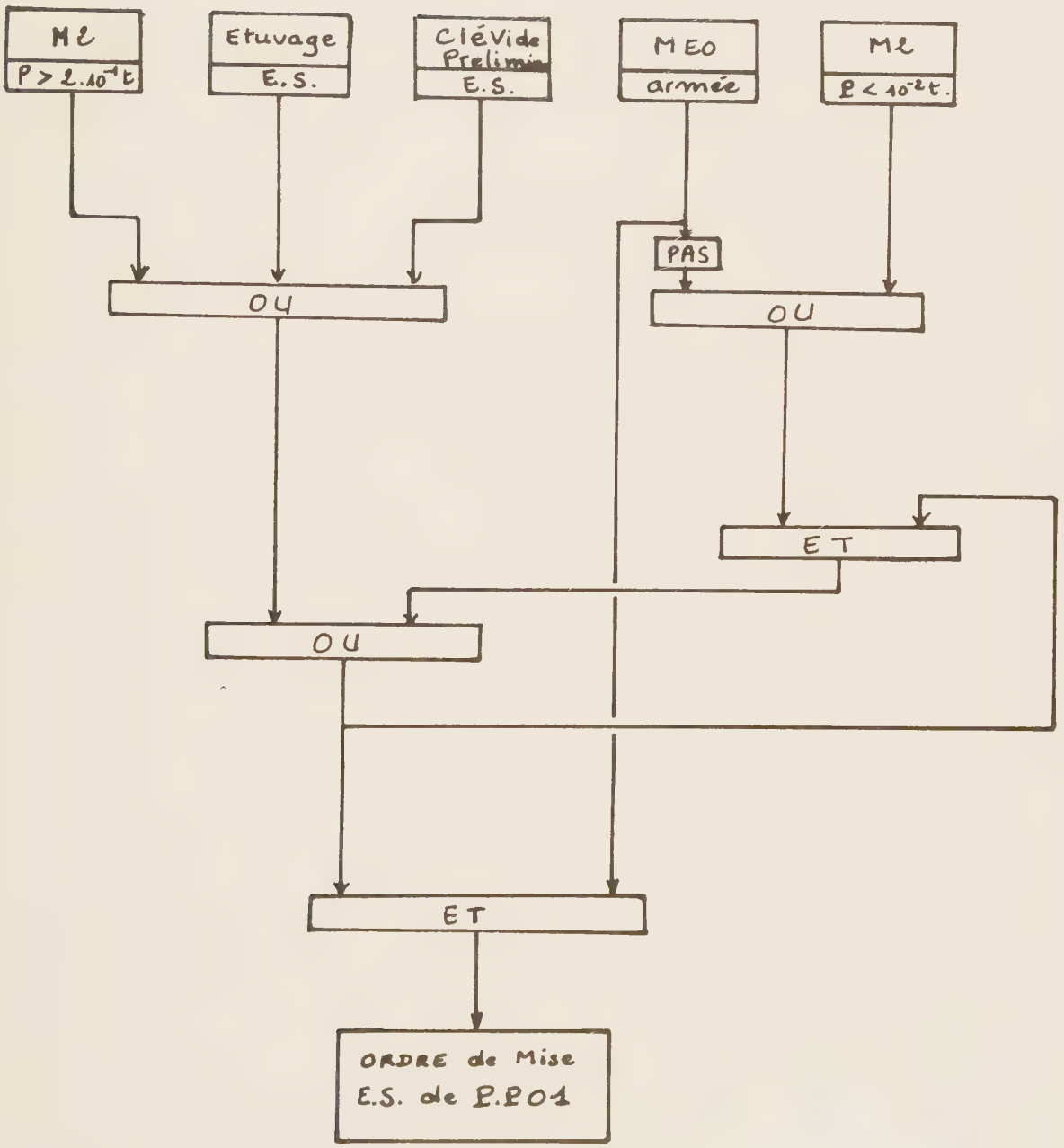
COMMANDE AUTOMATIQUE DE EV3 bis, EV3 et EV4



ENCLENCHEMENT DE JBA2



MISE EN SERVICE DE LA POMPE PRIMAIRE PP01



A N N E X E 2

APPLICATION DES INSTALLATIONS AUTOL

A LA SOUS-SEQUENCE "ENRICHISSEMENT"

DE LA LIGNE

S/S. Nº 1 TITRE : ENRICHISSEMENT (SS.ENR)

Page : 1

Date : 15.5.75

Etiquette	Code Opération	REPET.	Sens du Saut	Val. du Saut	Valeur ou Hom.	Repère Variable	APPEL : Instant zéro de la Séquence Marche Normale	Textes Signalisations Observations
1	ETØR	0			1	SN23	Enclencher Froid C1	
2	ETØR	0			0	SN47	Déclencher Vanne 26	Vanne normalement ouverte
3	ETØR	0			1	SN43	Enclencher Vanne 22	
4	ETØR	0			1	SN59	Enclencher Vanne 41	
5	TEMPI				420		T=420	Temp. de 7 mn.
6	ETØR	0			0	SN25	Déclencher Froid C2	
7	ETØR	0			1	SN24	Enclencher Chaud C2	
8	ETØR	0			0	SN44	Déclencher Vanne 23	Arrêt balayage Hélium dans C2
9	ETØR	0			0	SN48	Déclencher Vanne 27	

S/S. Nº 1 TITRE : ENRICHISSEMENT (SS.ENR)

Page : 2

Date : 15.5.75

Etiquette	Code Opération	REPET.	Sens du Saut	Val. du Saut	Valeur ou Hom.	Repère Variable	APPEL :	Textes Signalisations Observations
10	TEMPI				1		T=1	Temp. de 1s
11	ETØR	0			1	SN62	Enclencher Vanne 44	Transfert de C2 vers C3
12	ETØR	0			1	SN63	Enclencher Vanne 45	
13	TEMPI				120		T=120	Temp. de 2 mn.
14	ETØR	0			1	SN45	Déclencher Vanne 24	Remise en service balayage dans C2
15	ETØR	0			0	SN46	Déclencher Vanne 25	Arrêt balayage Hélium dans C3
16	TEMPI				1		T=1	Temp. de 11
17	ETØR	0			0	SN44	Enclencher Vanne 23	
18	TEMPI				60		T=60	Temp. de 1 mn.

S/S. Nº 3 TITRE: ENRICHISSEMENT (SS. ENR)

Page: 3

Date: 15.5.75

Etiquette	Code Opération	REPET.	Sens du Saut	Val. du Saut	Valeur ou Hom.	Repère Variable	APPEL:	Textes Signalisations Observations
19	ETØR	0			0	SN43	Déclencher Vanne 22	Arrêt balayage He dans C1
20	TEMPI				1		T=1	Temp. de 1s
21	ETØR	0			1	SN60	Déclencher Vanne 42	Admission Argon sur C1
22	TEMPI				1		T=1	Temp. de 1s.
23	ETØR	0			0	SN59	Déclencher Vanne 41	
24	TEMPI				360		T=360	Temp. de 6 mn.
25	ETØR	0			0	SN62	Déclencher Vanne 44	
26	ETØR	0			0	SN63	Reclencher Vanne 45	
27	TEMPI				1		T=1	Temp. de 1s.

S/S. Nº 1 TITRE: ENRICHISSEMENT (SS.ENR)

Page: 4

Date: 15.5.75

Etiquette	Code Opération	REPET.	Sens du Saut	Val. du Saut	Valeur ou Hom.	Repère Variable	APPEL:	Textes Signalisations Observations
28	ETØR	0			1	SN45	Enclencher Vanne 24	
29	ETØR	0			1	SN46	Enclencher Vanne 25	
30	TEMPI				1		T=1	Temp. de 1s.
31	ETØR	0			1	SN48	Enclencher Vanne 27	
32	TEMPI				180		T=180	Temp. de 3 mn.
33	ETØR	0			1	SN51	Déclencher Vanne 32	
34	ETØR	0			0	SN53	Déclencher Vanne 34	
35	ETØR	0			0	SN54	Déclencher Vanne 35	
36	ETØR	0			0	SN49	Déclencher Vanne 28	

S/S. N° 1 TITRE: ENRICHISSEMENT (SS. ENR)

Date: 15.5.75

Etiquette	Code Opération	REPET.	Sens du Saut	Val. du Saut	Valeur ou Hom.	Repère Variable	APPEL:	Textes Signalisations Observations
37	ETØR	0			0	SN45	Déclencher Vanne 24	
38	TEMPI				2		T=2	Temp. de 2 s.
39	ETØR	0			1	SN55	Enclencher Vanne 36	
40	ETØR	0			1	SN63	Enclencher Vanne 45	
41	ETØR	0			1	SN52	Enclencher Vanne 33	
42	TEMPI				60		T=60	Temp. de 1 mn.
43	ETØR	0			0	SN52	Déclencher Vanne 33	
44	ETØR	0			0	SN63	Déclencher Vanne 45	
45	TEMPI				1		T=1	Temp. de 1 s.

S/S. Nº 1 TITRE : ENRICHISSEMENT (SS.ENR)

Page : 6

Date : 15.5.75

Etiquette	Code Opération	REPET.	Sens du Saut	Val. du Saut	Valeur ou Hom.	Repère Variable	APPEL:	Textes Signalisations Observations
46	ETØR	0			1	SN51	Enclencher Vanne 32	
47	ETØR	0			1	SN53	Enclencher Vanne 34	
48	TEMPI				240		T=240	Temp. de 4 mn.
49	ETØR	0			0	SN27	Déclencher Froid C3	
50	ETØR	0			0	SN26	Enclencher Chaud C3	
51	ETØR	0			0	SN46	Déclencher Vanne 25	
52	ETØR	0			0	SN55	Déclencher Vanne 36	
53	TEMPI				1		T=1	Temp, de 1 s.
54	ETØR				0	SN54	Enclencher Vanne 35	

S/S. N° 1 TITRE: ENRICHISSEMENT (SS.ENR)

Page: 7

Date: 15.5.75

Etiquette	Code Opération	REPET.	Sens du Saut	Val. du Saut	Valeur ou Hom.	Repère Variable	APPEL:	Textes Signalisations Observations
55	TEMPI				120		T=120	Tempo de 2 mn.
56	ETØR	0			0	SN24	Déclencher Chaud C2	
57	ETØR	0			0	SN48	Déclencher Vanne 27	
58	TEMPI				30		T=30	Tempo de 30 s.
59	ETØR	0			0	SN44	Déclencher Vanne 23	
60	TEMPI	0			330		T=330	Tempo de 5,5 mn.
61	ETØR	0			1	SN59	Enclencher Vanne 41	
62	TEMPI				1		T=1	Tempo de 1 s.
63	ETØR	0			0	SN60	Déclencher Vanne 42	

S/S. N° 1 TITRE : ENRICHISSEMENT (SS.ENR)

Page : 8

Date : 15.5.75

Etiquette	Code Opération	REPET.	Sens du Saut	Val. du Saut	Valeur ou Hom.	Repère Variable	APPEL:	Textes Signalisations Observations
64	TEMPI				1		T=1	Tempo de 1s.
65	ETØR	0			1	SN43	Enclencher Vanne 22	
66	TEMPI				240		T=240	Tempo de 4 mn.
67	TATT	0		0		ER001	NON Introduction possible oui	
68	ETØR	0			0	SN54	Déclencher Vanne 35	
69	ETØR	0			0	SN72	Déclencher Vanne 55	
70	ETØR	0			0	SN77	Déclencher Vanne 60	
71	ETØR	0			0	SN82	Déclencher Vanne 65	
72	ETØR	0			0	SN81	Déclencher Vanne 66	

S/S. Nº 1 TITRE: ENRICHISSEMENT (SS.ENR)

Page: 9

Date: 15.5.75

Etiquette	Code Opération	REPET.	Sens du Saut	Val. du Saut	Valeur ou Hom.	Repère Variable	APPEL:	Textes Signalisations Observations
73	TEMPI				1		T=1	Tempo de 1 s.
74	ETØR	0			1	SN64	Enclencher Vanne 46	
75	TEMPI				30		T=30	Tempo de 30 s.
76	ETØR	0			0	SN66	Déclencher Vanne 48	
77	TEMPI				1		T=1	Tempo de 1 s.
78	TVAR	0		1		MP04	NON Pression Correcte? OUI	
79	TVAR	0		1		ER002	NON Spectro dispon.? OUI	
80	SAU			3			A	
81	ETØR	0		1		SN67	Enclencher Vanne 49	

S/S. Nº 1 TITRE: ENRICHISSEMENT (SS ENR)

Page: 10

Date: 15.5.1975

Etiquette	Code Opération	REPET.	Sens du Saut	Val. du Saut	Valeur ou Hom.	Repère Variable	APPEL:	Textes Signalisations Observations
82	SAU		+	2			B	
83	ETØR	0			1	SN 65	A — Enclencher Vanne 47	
84	TEMPI				90		B — T=90	Tempo. de 1,5 mn
85	ETØR	0			0	SN 65	Déclencher EV 47	
86	ETØR	0			0	SN 67	Déclencher vanne 49	
87	ETØR	0			0	SN 64	Déclencher Vanne 46	
88	TEMPI				2		T=2	
89	ETØR	0			1	SN 66	Enclencher EV 48	
90	ETØR	0			1	SN 54	Enclencher Vanne 35	

S/S. Nº 1 TITRE: ENRICHISSEMENT (SS ENR)

Date: 15.05.75

Etiquette	Code Opération	REPET.	Sens du Saut	Val. du Saut	Valeur ou Hom.	Repère Variable	APPEL:	Textes Signalisations Observations
91	ETØR	0			1	SN 82	Enclencher Vanne 65	
92	ETØR	0			1	SN 77	Enclencher Vanne 60	
93	ETØR	0			1	SN 72	Enclencher Vanne 56	
94	ETØR	0			1	SN 81	Enclencher Vanne 66	
95	ETØR	0			1	SN 45	Enclencher Vanne 24	
96	ETØR	0			1	SN 46	Enclencher Vanne 25	
97	AFVV	0			1	ER 003	Enregistrer Analyse Echantillon	
98	TEMPI				30		T=30	Tempo. de 30 s.
99	ETØR	0			1	SN 49	Enclencher Vanne 28	

S/S. N° 1 TITRE: ENRICHISSEMENT (SS ENR)

Date: 15.05.1975

Etiquette	Code Opération	REPET.	Sens du Saut	Val. du Saut	Valeur ou Hom.	Repère Variable	APPEL:	Textes Signalisations Observations
100	ETØR	0			1	SN 63	Enclencher Vanne 45	
101	TEMPI				30		T=30	Tempo. de 30 s.
102	ETØR	0			0	SN 63	Déclencher Vanne 45	
103	ETØR	0			1	SN 25	Enclencher Froid C2	
104	ETØR	0			1	SN 44	Enclencher Vanne 23	
105	TEMPI	0			1		T=1	Tempo. de 1 s.
106	ETØR	0			1	SN 48	Enclencher Vanne 27	
107	TEMPI	0			540		T=540	Tempo. de 9 mn.
108	ETØR	0			0	SN 26	Déclencher Chaud C3	

S/S. Nº 1 TITRE: ENRICHISSEMENT(SS ENR)

Date: 15.5.1976

Etiquette	Code Opération	REPET.	Sens du Saut	Val. du Saut	Valeur ou Hom.	Repère Variable	APPEL:	Textes Signalisations Observations
109	ETØR	0			0	SN 49	Déclencher Vanne 28	
110	TEMPI				30		T=30	Tempo. de 30 s.
111	ETØR	0			0	SN 45	Déclencher Vanne 24	
112	ETØR	0			0	SN 46	Déclencher Vanne 25	
113	TEMPI	0			30		T=30	Tempo. de 30 s.
114	ETØR	0			0	SN 23	Déclencher Froid C1	
115	ETØR	0			1	SN 22	Enclencher Chaud C1	
116	ETØR	0			1	SN 47	Enclencher Vanne 26	
117	ETØR	0			0	SN 43	Déclencher Vanne 22	

S/S. Nº 1 TITRE : ENRICHISSEMENT (SS ENR)

Page : 14

Date : 15.05.75

Etiquette	Code Opération	REPET.	Sens du Saut	Val. du Saut	Valeur ou Hom.	Repère Variable	APPEL:	Textes Signalisations Observations
118	TEMPI				1		T=1	Tempo. de 1 s.
119	ETØR	0			1	SN 61	Enclencher Vanne 43	
120	TEMPI				120		T=120	Tempo. de 2 mn.
121	ETØR	0			1	SN 48	Enclencher Vanne 27	
122	ETØR	0			0	SN 40	Déclencher Vanne 23	
123	TEMPI				1		T=1	Tempo. de 1 s.
124	ETØR	0			1	SN 43	Enclencher Vanne 22	
125	TEMPI				360		T=360	Tempo. de 6 mn.
126	ETØR	0			1	SN 27	Enclencher Froid C3	

S/S. Nº 1 TITRE: ENRICHISSEMENT (SS ENR)

Page: 15

Date: 15.05.1975

Etiquette	Code Opération	REPET.	Sens du Saut	Val. du Saut	Valeur ou Hom.	Repère Variable	APPEL:	Textes Signalisations Observations
127	ETØR	0			1	SN 45	Enclencher Vanne 24	
128	ETØR	0			1	SN 46	Enclencher Vanne 25	
129	TEMPI				1		T=1	Tempo. de 1 s.
130	ETØR	0			1	SN 49	Enclencher Venne 28	
131	TEMPI				60		T=60	Tempo.de 1 mn.
132	ETØR	0			0	SN 61	Déclencher Vanne 43	
133	ETØR	0			0	SN 22	Déclencher Chaud C1	
134	TEMPI				1		T=1	Tempo. de 1s.
135	ETØR	0			0	SN 47	Déclencher Vanne 26	

S/S. Nº 1 TITRE: ENRICHISSEMENT (SS ENR)

Page: 16

Date: 15.05.75

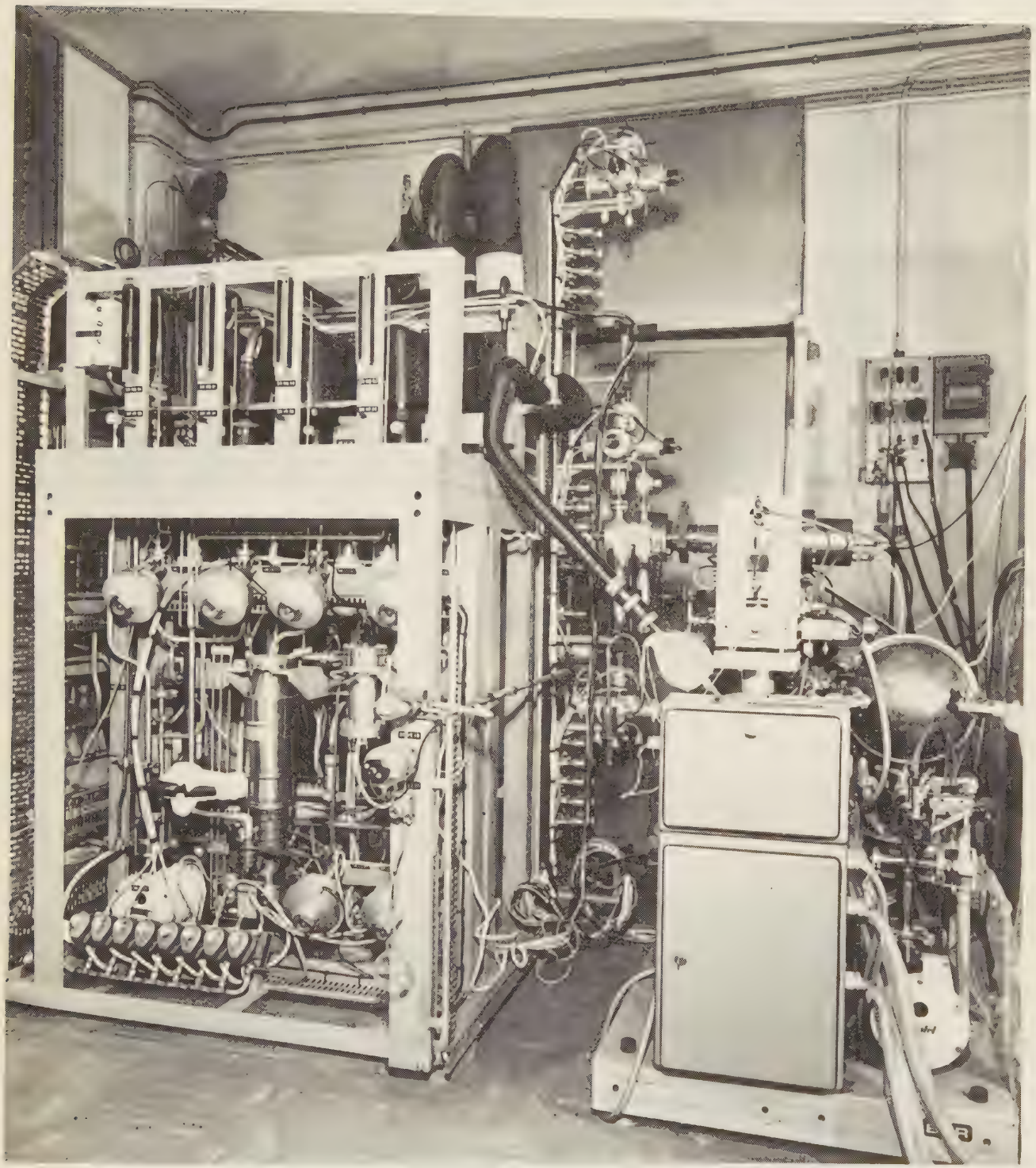
Etiquette	Code Opération	REPET.	Sens du Saut	Val. du Saut	Valeur ou Hom.	Repère Variable	APPEL:	Textes Signalisations Observations
136	ETØR	0			1	SN 44	Enclencher Vanne 23	
137	FIN						FIN	

A N N E X E S 3

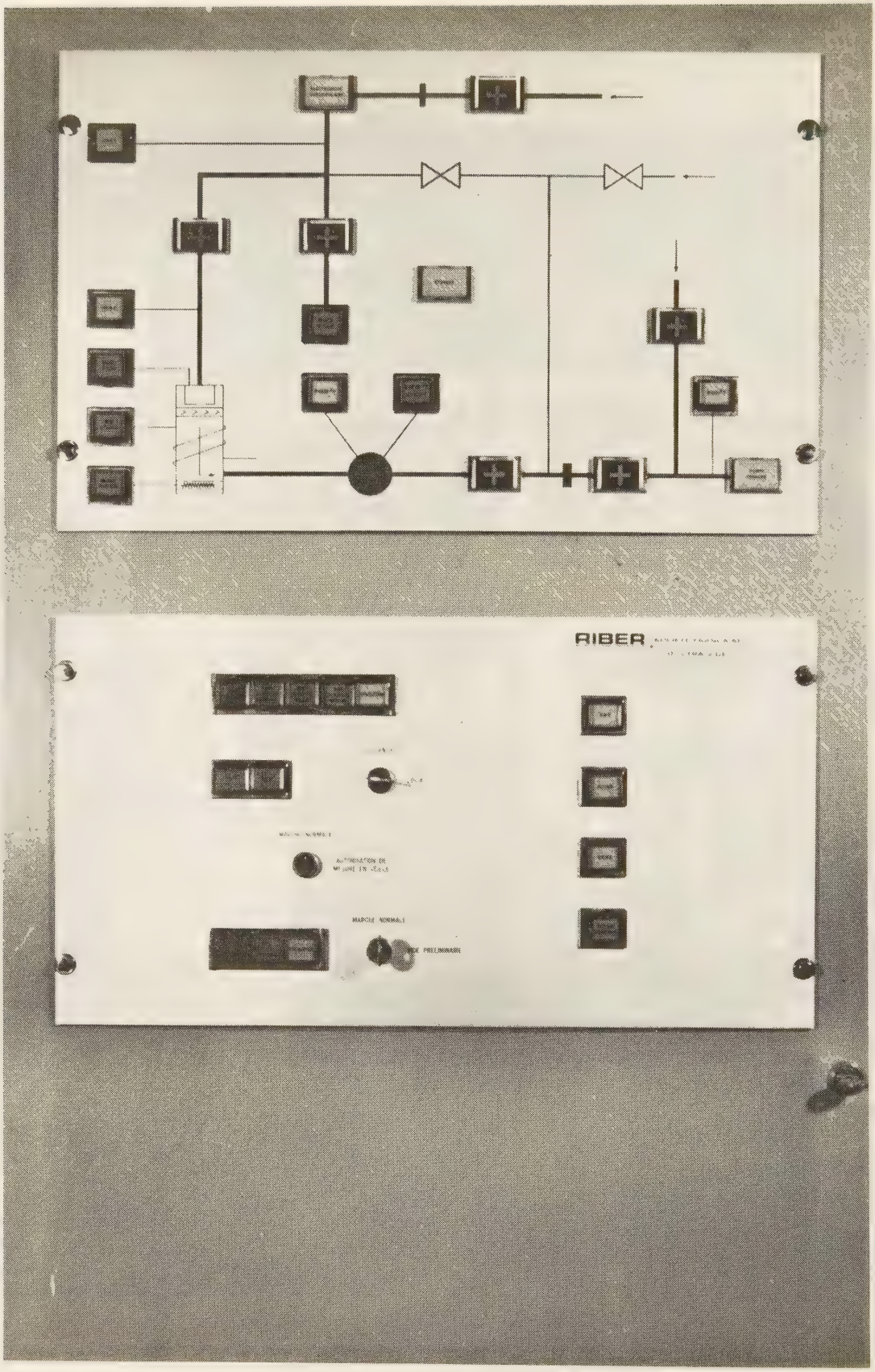
VUES DU MATERIEL AU MOMENT DES ESSAIS

EN LABORATOIRE, AU CENTRE D'ETUDES

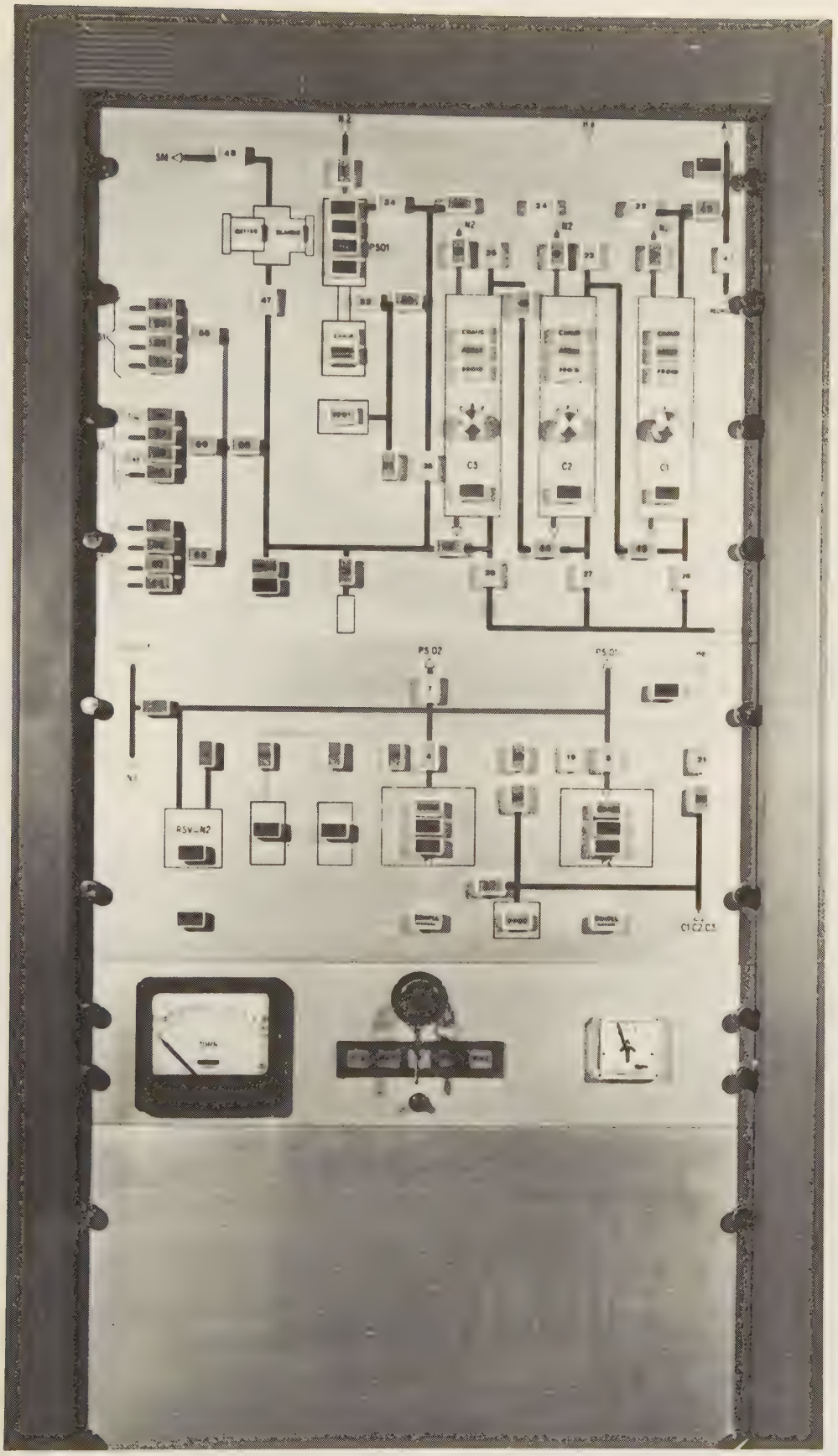
NUCLEAIRES DE SACLAY.



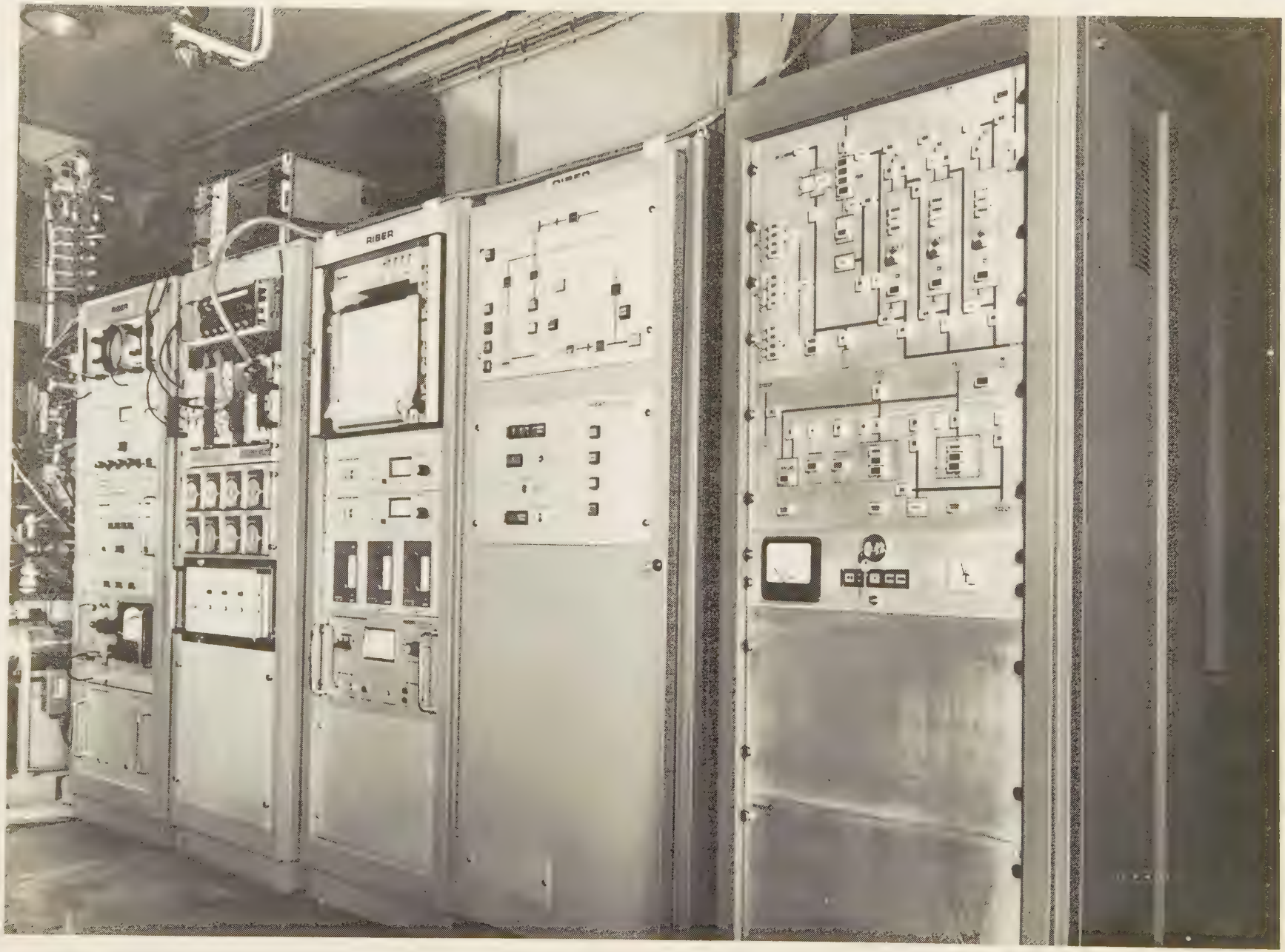
LIGNE D'ENRICHISSEMENT ET SPECTROMETRE DE MASSE



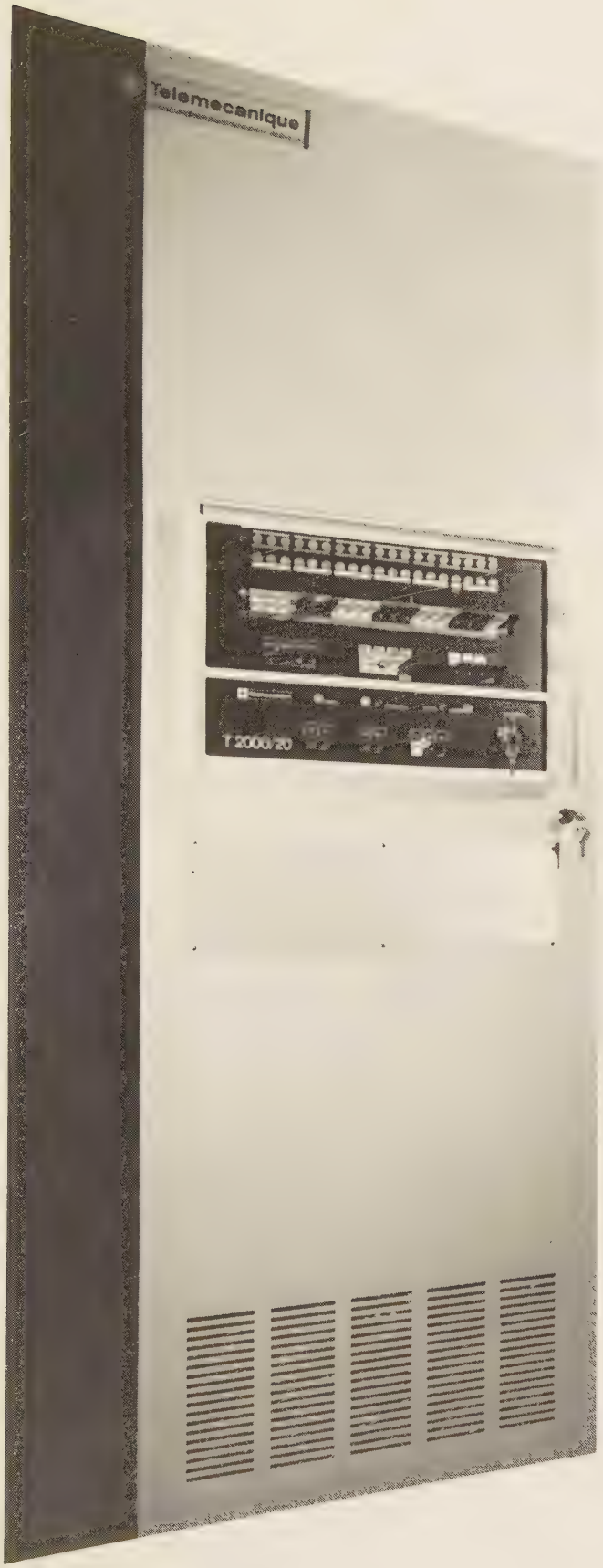
ARMOIRE DE COMMANDE ET SIGNALISATION DU SPECTROMETRE



ARMOIRE DE COMMANDE ET DE SIGNALISATION DE LA LIGNE

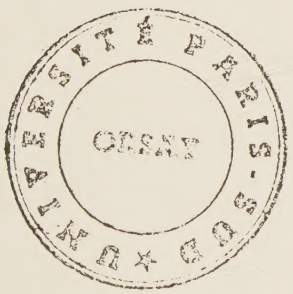


ARMOIRES DE COMMANDE ET DE MESURE DE LA LIGNE ET DU SPECTROMETRE



ARMOIRE CALCULATEUR ET INTERFACES

Vu et approuvé

ORSAY, le 10 juin 1976

Les Membres du Jury